MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII
INSTITUTUL DE ECOLOGIE ȘI GEOGRAFIE

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 631.459:004 (478) (043.2)

TUDOR CASTRAVEȚ

MODELAREA EROZIUNII PRIN APĂ ÎN CÂMPIA PRUTULUI DE MIJLOC CA SUPORT PENTRU PLANIFICAREA DEZVOLTĂRII DURABILE

166.02 - PROTECȚIA MEDIULUI AMBIANT ȘI FOLOSIREA RAȚIONALĂ A RESURSELOR NATURALE

Teză de doctor în științe geonomice

Conducător științific: BOBOC Nicolae
Doctor în geografie,
Conferențiar universitar

Autorul: CASTRAVEȚ Tudor

CHIȘINĂU, 2018

ADNOTARE

Tudor Castraveț, „Modelarea eroziunii prin apă în Câmpia Prutului de Mijloc ca suport pentru planificarea dezvoltării durabile”. Teză de doctor în științe geonomice, Chișinău, 2018.

Teza este compusă din: Introducere, 4 Capitole, Concluzii generale, Bibliografie cu 198 titluri, 140 pagini de text de bază, 42 tabele, 109 figuri, 8 anexe. Rezultatele obținute sunt publicate în 9 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: eroziunea solului, modelare, Sisteme Informaționale Geografice, modele ale eroziunii prin apă, USLE, RUSLE.

Domeniul de cercetare: protecția mediului ambiant și folosirea rațională a resurselor naturale.

Scopul cercetării constă în elaborarea, validarea și implementarea unui set de tehnici și procedee de modelare computerizată a proceselor erozionale, în cadrul zonei de studiu, prin aplicarea SIG, pentru evidențierea arealelor de manifestare, evaluarea ratei eroziunii și prognozarea manifestării eroziunii în condițiile modificărilor de mediu.

Obiectivele cercetării: •evidențierea factorilor care determină eroziunea și a condițiilor de manifestare a acesteia; •evidențierea obiectelor naturale și antropice expuse riscului eroziunii; •elaborarea aparatului metodologic de modelare a eroziunii, adaptat la condițiile specifice ale Republicii Moldova în general și ale zonei de studiu în special •elaborarea modelelor spațiale ale erozivității, riscului și ratei eroziunii; •elaborarea prognozelor privind manifestarea proceselor erozionale în condițiile schimbărilor de mediu; •elaborarea propunerilor privind reducerea riscului eroziunii.

Noutatea și originalitatea științifică. Pentru prima dată în Republica Moldova se soluționează problemele privind estimarea distribuției spațiale, evaluarea hazardului și riscului eroziunii prin apă a solului prin metode de modelare computerizată, cu aplicarea SIG, în mod specific, au fost elucidate următoarele aspecte: •au fost sistematizate datele privind factorii care determină eroziunea și condițiile de manifestare a acesteia; •au fost evidențiate areale expuse riscului eroziunii; •a fost elaborat aparatul metodologic de modelare a eroziunii, adaptat la condițiile specifice ale Republicii Moldova în general și ale zonei de studiu în special; •au fost elaborate modelele spațiale (hărțile) ale erozivității precipitațiilor, erodibilității solului, riscului și ratei eroziunii; •au fost elaborate prognoze privind manifestarea proceselor erozionale în condițiile schimbărilor de mediu; •au fost elaborate propuneri privind estimarea și reducerea riscului eroziunii.

Problema științifică soluționată constă în estimarea riscului eroziunii solului prin scurgere de suprafață, prin aplicarea principiilor modelării în mediu SIG; în elaborarea și implementarea metodologiei de estimare a riscului eroziunii solului în condițiile Republicii Moldova.

Importanța teoretică. Sunt evidențiate aspectele teoretico-metodologice ale modelării logico-matematice a eroziunii solului prin apă; sunt analizați factorii fizico-geografici și antropici de manifestare a proceselor erozionale în condițiile zonei de studiu; este adaptată metodologia de estimare a erozivității precipitațiilor pentru teritoriul Republicii Moldova.

Valoarea aplicativă a lucrării. Au fost elaborate modele (hărți) ale distribuției spațiale ale erozivității precipitațiilor, erodibilității solurilor, hazardului și riscului eroziunii prin apă a solurilor.

Implementarea rezultatelor. Rezultatele, reprezentate prin hărți de risc a eroziunii, au fost implementate de către autoritățile din raioanele administrative din zona de studiu. De asemenea, rezultatele au fost utilizate la pregătirea curriculum-ului și suportului de curs pentru cursurile universitare de „Pedologie cu elemente de protecție a solurilor”, „Hidrologie generală” și „Geoinformatică și analiză spațială” în cadrul Universității de Stat „Dimitrie Cantemir”.

АННОТАЦИЯ

Тудор Кастравец, «Моделирование водной эрозии на Среднепрутской равнине для поддержки планирования устойчивого развития», Диссертация на соискание ученой степени доктора геономических наук, Кишинев, 2018 г.

Содержание: Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключений, 198 наименований библиографии, 140 страниц основного текста, 42 таблиц, 109 рисунков и 8 приложений. **Результаты исследования** опубликованы в 9 научных работах.

Ключевые слова: моделирование эрозии почв, географические информационные системы, модели водной эрозии, USLE, RUSLE.

Область исследований: охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Цель исследования: заключается в разработке, проверке и реализации набора методов компьютерного моделирования процессов эрозии, в пределах района исследования, путем применения географических информационных систем (ГИС), для выявления областей проявления эрозии, оценки скорости эрозии почв, и прогнозирования эрозии в условиях изменчивой окружающей среды, как поддержка при оптимизации программ и региональных планов устойчивого развития територии.

Задачи исследования: выявление определяющих факторов и условий проявления эрозии; выделение объектов находящимся под риском эрозии; разработка методологии компьютерного моделирования эрозии, адаптированная к конкретным условиям Республики Молдовы в целом и области исследования, в частности; развитие пространственных моделей эрозивности осадков, риска и скорости эрозии; прогнозирование проявления процессов эрозии под воздействием изменения окружающей среды; подготовка предложений по снижению риска эрозии.

Научная новизна и оригинальность: Впервые в Республике Молдова решаются проблемы пространственного распределения, оценки опасности и риска водной эрозии почв, с помощью компьютерного моделирования и с применением ГИС. В частности, были выяснены следующие вопросы: •систематизированы данные о факторах определяющих эрозионные процессы и об условиях их проявления; •выделены районы находящиеся под риском эрозии; •разработана методология моделирования эрозии, приспособленная к конкретным условиям Молдовы в целом, и району исследования, в частности; •разработаны пространственные модели (карты) эрозивности осадков, размываемости почв, риска и скорости эрозии; •разработаны предложения для оценки и снижения эрозии.

Решенная научная проблема: заключается в оценке риска эрозии почв поверхностным стоком, с применением принципов моделирования в ГИС среде; в разработке и внедрении методологии оценки риска эрозии почв в условиах Республики Молдова.

Теоретическая значимость: выделены теоретические и методологические аспекты математического моделирования эрозии почв; анализируются географические факторы эрозионных процессов в исследуемой области; адаптирована методология оценки эрозивности осадков для Республики Молдова.

Значение работы: были разработаны модели (карты) пространственного распределения эрозивности осадков, размываемости почв, и риска эрозии почвы.

Внедрение результатов: результаты, представленные картами риска эрозии были внедренны властями административных районов иследуемой територии. Результаты также были использованы при подготовке учебных программ для университетских курсов «Почвоведение с элементами противоэрозионной защиты», «Общая гидрология» и «Геоинформатика и пространственный анализ» на Кафедре Экологии и Наук об Окружающей Среде, Государственого Университета „Dimitrie Cantemir”.

ANNOTATION

Tudor Castravet, „Water Erosion Modeling in the Middle Prut Plain as a support for sustainable development planning”, PhD Thesis in Geonomical Sciences, Chișinău, 2018.

Contents: The thesis consists of: Introduction, 3 Chapters, General conclusions, Bibliography with 198 titles, 140 base text pages, 42 tables, 109 figures, and 8 Annexes. The obtained results were published in 9 scientific papers.

Key words: soil erosion, modeling, Geographic Information Systems, water erosion models, USLE, RUSLE.

Field of research: the protection of the environment and the rational use of natural resources.

The aim of the research was to elaborate, validate and implement a set of techniques and methods of computerized modeling of erosion processes within the study area, by applying the Geographical Information Systems (GIS), highlighting erosion manifestation areas, evaluating erosion rates and forecasting erosion in conditions of environmental changes, as a support for the optimization of programs and plans for sustainable development.

Objectives of the research: to highlight the factors that determine the erosion and the conditions of its manifestation; highlighting objects at risk of erosion; elaboration of the methodological apparatus for modeling erosion, adapted to the specific conditions of the Republic of Moldova in general and of the study area in particular; elaboration of spatial models of erosivity, risk and rate of erosion; elaboration of prognoses regarding erosion processes in conditions of environmental changes; developing proposals for estimation and reduction of the water erosion risk.

Novelty and scientific originality: for the first time in the Republic of Moldova, were solved the problems regarding estimation of spatial distribution, assessment of the hazard and risk of soil erosion through the methods of computer modeling, with the application of the Geographic Information Systems, and more specifically, the following aspects were considered: • were systematized the data on the factors determining the erosion and the conditions for its manifestation; • have been highlighted areas exposed to the risk of erosion; • was developed a methodology for erosion modeling, adapted to the specific conditions of the Republic of Moldova in general and of the study area in particular; • have been developed the spatial models (maps) of rainfall erosivity, soil erodibility, risk and erosion rates; • have been developed the estimates of erosion processes in the context of environmental changes; • have been developed the proposals in order to estimate and reduce the risk of erosion.

The solved scientific problem: consists in assessment of the risk of soil erosion by surface runoff applying the principles of modeling in the GIS environment; in the development and implementation of a methodology for assessing the risk of soil erosion in the conditions of the Republic of Moldova.

Theoretical significance: the theoretical and methodological aspects mathematical modeling of soil erosion are highlighted; the geographic factors of erosion processes are analyzed in the study area; the methodology for estimating the precipitation erosivity for the Republic of Moldova is adapted.

Application value of the work: models (maps) of the spatial distribution of precipitation erosivity, soil erodibility, hazard and risk of soil erosion through water were developed.

Implementing the results: the results, represented by erosion risk maps, have been implemented by the authorities of the administrative districts of the study area. The results were also used to prepare the curriculum and course support materials for the „Pedology with Soil Protection Elements”, „General Hidrology” and „Geoinformatics and Spatial Analysis” university courses at the State University „Dimitrie Cantemir”.

LISTA ABREVIERILOR

EUROSEM - The European Soil Erosion Model

FAO LCCS - Sistemul FAO de Clasificare a Acoperirii Terenului

GRASS GIS - Geographic Resources Analysis Support System

ICPA - Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie, București

IEG - Institutul de Ecologie și Geografie

INMH - Institutului Național de Meteorologie și Hidrologie, București

LIDAR - LIght Detection And Ranging

MDE - Model Digital al Elevației

MNAT - Modelul Numeric Altitudinal al Terenului

MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

PESERA - Pan-European Soil Erosion Risk Assessment

ROMSEM - Romania Soil Erosion Model

RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation

SAGA GIS - System for Automated Geoscientific Analyses

SIG - Sistem Informațional Geografic

TPI - Topographic Position Index

TWI - Topographic Wetness Index

USDA-ARS - United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service

USLE - Universal Soil Loss Equation

USPED - Unit Stream Power - based Erosion Deposition

WATEM - Water and Tillage Erosion Model

WEPP - Water Erosion Prediction Project

INTRODUCERE

Actualitatea temei

Problema eroziunii ajunge să fie una dintre cele mai grave problemele de mediu, la nivel național și internațional. Tematica eroziuni în general și a eroziunii solului în special merge mână în mână cu altele, la fel de importante, ca deșertificarea progresivă a teritoriului, manifestarea hazardelor naturale dar și creșterea numărului populației și a necesităților alimentare. Această problemă este, prin urmare, de o importanță deosebită mai ales în cazul în care avem în vizor un teritoriu vulnerabil, în sensul unui echilibru precar, în prezența unor intense activități umane, când procesul de eroziune este mult mai rapid.

Eroziunea – o problemă reală. Solul este principala bogăție naturală (resursă) a Republicii Moldova. La nivelul anilor '80 ai sec. XX-lea pe teritoriul Republicii Moldova existau aproximativ 330 mii ha terenuri mediu și puternic erodate, circa 100 mii ha terenuri afectate de fenomene de ravenare și aproximativ 2 mil. ha de terenuri necesitând protecție împotriva eroziunii, din cele 2585,2 mii ha ocupate de terenuri agricole [37]. În prezent, suprafața totală a terenurilor agricole erodate constituie circa 859 mii ha (33,9% din suprafața terenurilor agricole – 2,534 mii ha), inclusiv, slab erodate – 504 mii ha (19,9%), moderat erodate – 253 mii ha (10,0%), puternic erodate – 102 mii ha (4,0 %) [12].

La fel, după Agenția Europeană de Mediu (2008), o situație nu tocmai favorabilă se poate descrie și în alte regiuni. Astfel, în 1990, la nivel european (fără Rusia), aproximativ 105 mil. ha de terenuri (16% din teritoriu), se estimau a fi afectate de eroziune, iar în 2012, la nivelul UE-27, deja circa 130 mil. ha au fost estimate ca fiind afectate de eroziunea prin apă, din care aproape 20% suportă o rată a pierderilor de sol de peste 10 tone ha^{-1} an^{-1}.

Modelarea – o soluție pentru estimarea hazardului și riscului. Cartarea terenurilor erodate în teren este costisitoare (necesită timp, specialiști, costuri). Rapoartele actuale (statistica) privind calitatea terenurilor sunt superficiale, realizate adesea de nespecialiști (mai ales la faza de colectare a datelor) și fără aplicarea unei metodologii simple, precise și unice privind estimarea eroziunii. Datele existente (inclusiv cartografice) sunt depășite de timp și nu redau într-o manieră clară (și utilizabilă) starea lucrurilor.

Modelarea – o soluție pentru realizarea de prognoze și planificare. Natura este în continuă schimbare - schimbările de climă fiind printre cele mai pregnante (ex. precipitații). Societatea umană, de asemenea, este în continuă schimbare - transformări social-economice, urmate de modificări în ceea ce privește: tipul de utilizare a terenurilor, structura terenurilor

(parcelare), tehnicile de prelucrare a terenurilor agricole etc. Capacitatea *noastră* de adaptare la aceste schimbări depinde de posibilitatea de a prognoza din timp efectele acestor schimbări.

Importanța problemei abordate

Ca consecință a eroziunii, în diferite manifestări ale ei (liniară, plană), rezultă apariția unui relief degradat, incomod pentru activitățile umane, are loc scăderea în grosime a orizonturilor superficiale de sol, reducându-se astfel cantitativ conținutul de materie organică, lut și substanță coloidală; se reduce adâncimea de fixare a rădăcinilor plantelor și capacitatea de retenție a substanțelor nutritive și apă în sol. Acidificarea, levigarea, compactarea, eutrofizarea și reducerea activității biologice sunt procese favorabile (agravante) pentru eroziunea solului (Figura 0.1).

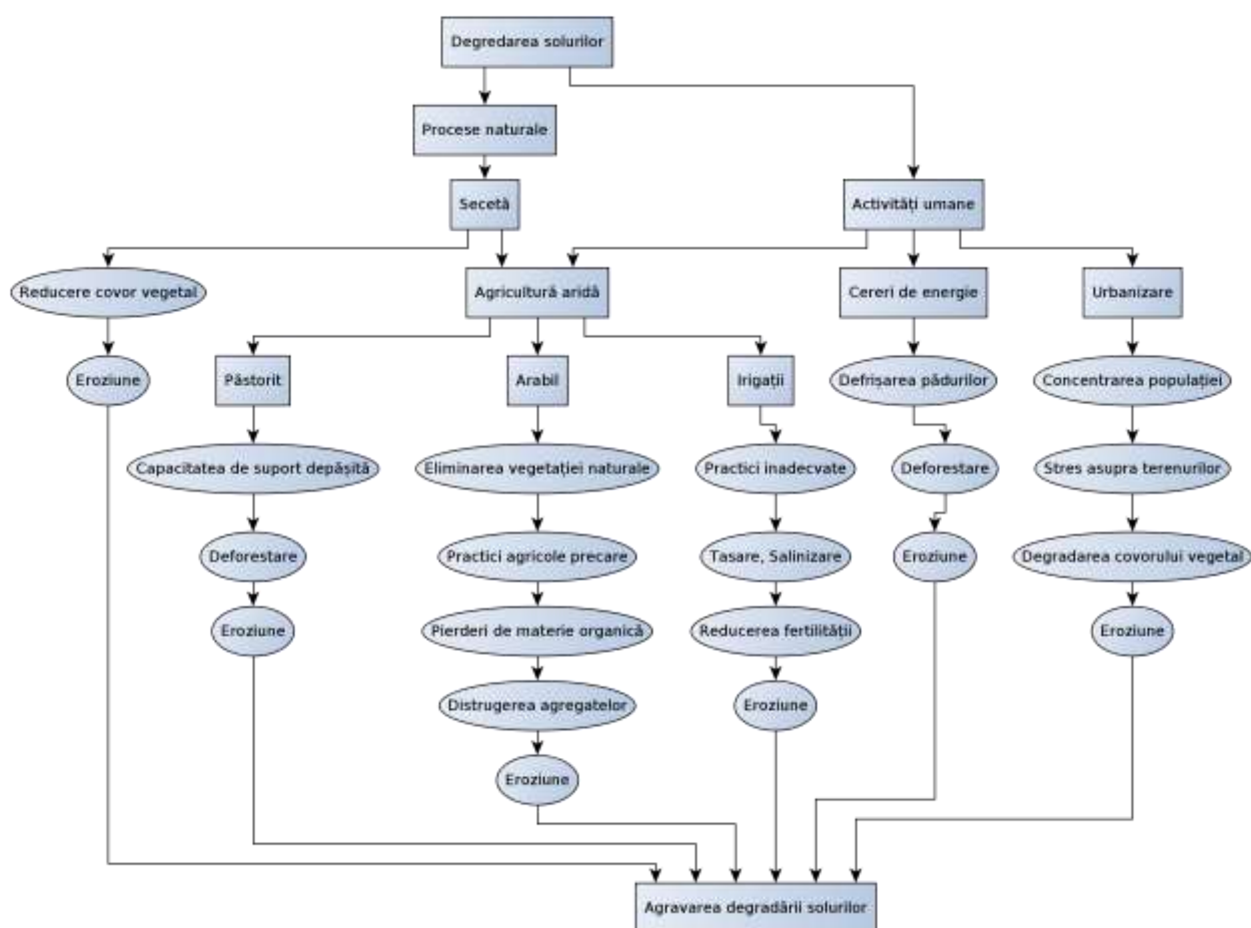


Fig. 0.1. Cauzele degradării solului [152]

Eroziunea, ca și depunerea de sedimente, sunt fenomene naturale și nu pot fi anulate. Un real pericol prezintă eroziunea accelerată, care fiind generată de activitățile umane, duce la creșterea substanțială a ratelor eroziunii, transportului și depozitării de sedimente. Eroziunea și sedimentarea crescândă pot determina apariția unor stări de risc geomorfologic, pot diminua calitatea apei etc., pot produce daune, înlăturarea cărora necesită reparații costisitoare.

Depunerea de sedimente contribuie la modificarea caracteristicilor obiectelor acvatice. Aceste schimbări pot avea consecințe majore, cum ar fi, spre exemplu, producerea inundațiilor.

Sedimentarea în zona luncilor poate altera procesele hidrologice și distruge vegetația acvatică și palustră. De aceea, este important de a minimaliza impactul cauzat de procesele erozionale prin planificarea unor măsuri de conservare. O astfel de planificare poate fi dificilă pentru areale largi, însă Sistemele Informaționale Geografice (SIG) pot oferi instrumentele necesare pentru abordarea riscului eroziunii, evaluarea diferitelor alternative de manifestare a schimbărilor și optimizarea spațială a măsurilor de conservare.

Înțelegerea integrală a circuitului sedimentelor și a proceselor implicate este importantă, oferind suport valoros pentru planificarea gestiunii și utilizării terenurilor ș.a. În Europa, costurile legate de impactul indirect și ex-situ al producției de sedimente pare să fie mai mare decât cele generate de impactul direct și in-situ [45, p. 467]. Astfel, cercetarea producției de sedimente este necesară nu doar din prisma efectelor sale in-situ, dar și a celor ex-situ.

Obiectul acestei cercetări este procesul de eroziune a solului prin scurgerea de versant.

Subiectul cercetării este ***modelarea logico-matematică a eroziunii*** prin apă prin intermediul Sistemelor Informaționale Geografice (SIG).

Scopul lucrării

Scopul cercetării constă în ***elaborarea, validarea și implementarea*** unui set de tehnici și procedee de modelare computerizată a proceselor erozionale prin aplicarea SIG, pentru evidențierea arealelor de manifestare, evaluarea ratei eroziunii și prognozarea manifestării eroziunii în condițiile modificărilor de mediu, ca suport pentru optimizarea programelor și planurilor de valorificare durabilă a teritoriului.

Obiectivele lucrării

Realizarea scopului de bază al studiului sa efectuat prin rezolvarea succesivă a următoarelor obiective:

- Evidențierea factorilor care determină eroziunea și a condițiilor de manifestare a acesteia;
- Evidențierea arealelor expuse riscului eroziunii;
- Elaborarea aparatului metodologic de modelare a eroziunii, adaptat la condițiile specifice ale Republicii Moldova în general și ale zonei de studiu în special;
- Elaborarea modelelor spațiale ale erozivității, riscului și ratei eroziunii;
- Elaborarea prognozelor privind manifestarea proceselor erozionale în condițiile schimbărilor de mediu;
- Elaborarea propunerilor privind estimarea și reducerea riscului eroziunii.

Ipoteza de lucru

Studiul dat are la bază ideea că procesele asociate cu eroziunea solului pot fi descrise prin ecuații matematice, iar analiza și modelarea statistică, geostatistică și geospațială pot fi aplicate pentru estimarea distribuției spațiale, a ratelor și riscului eroziunii solului.

Zona de studiu

Câmpia Prutului de Mijloc, situată integral în cadrul sectorului de mijloc-stânga al bazinului Prutului, este luată în considerație în acest studiu. La alegerea zonei de studiu ne-am condus de următoarele raționamente:

- Întreaga unitate se află în cadrul unui singur bazin hidrografic (al Prutului), iar aceasta este un argument important, dat fiind că practica studiilor recomandă abordările la nivel de bazin hidrografic;
- Este un teritoriu dens populat și pe larg valorificat agricol, cu exploatări de resurse minerale etc., iar ca urmare și cu impact antropic substanțial;
- Studiile efectuate până în prezent arată o intensificare a eroziunii peste media pe republică [20];
- În regiune există un număr important de lacuri de acumulare, care servesc drept bazine de acumulare pentru o bună parte din materialul erodat, iar procesele de colmatare reduc randamentul de utilizare a acestora sau chiar le pun în pericol existența.

Metode și procedee

Se disting trei modalități de abordare a identificării riscului [68, p. 24]:

- **Calitativă** bazată pe cunoștințe de tip expert;
- **Cantitativă** bazată pe informația obținută în urma măsurătorilor și determinărilor efectuate;
- **Prin modele de simulare** prin care se evaluează extinderea degradării solurilor utilizând modelarea, luând în considerare condițiile specifice locale (proprietățile solului, condițiile climatice) și managementul solului.

Evaluarea ratei producției și transportului de sedimente și localizarea suprafețelor aflate în condiții de risc de eroziune sunt importante aplicații ale SIG, care și a avut un rol de bază ca instrument de cercetare în acest studiu. Astfel, în lucrare au fost utilizate în special metoda modelării computerizate și a analizei geospațiale cu utilizarea Sistemelor Informaționale Geografice, iar în paralel - metoda cercetărilor în teren, studiul bibliografiei și surselor cartografice și metoda analizei statistice.

În studiu au fost puse în aplicare modele cunoscute și recunoscute pe plan mondial cum ar fi:

- Modelul USLE/RUSLE care se bazează pe o abordare axată pe eroziune; acest model simulând doar eroziunea solului, neglijând procesele de depunere a sedimentelor [187, 188, 147].
- Modelul USPED folosește o abordare diferită, definită de transportul de aluviuni. USPED, de asemenea, poate să evalueze și procesele depoziționale [122].

Noutatea științifică

Se soluționează problemele privind estimarea distribuției spațiale a proceselor erozionale, evaluarea hazardului, și riscului eroziunii prin apă a solului prin metode de modelare computerizată, cu aplicarea Sistemelor Informaționale Geografice în Republica Moldova, în mod specific, au fost elucidate următoarele aspecte:

- Au fost sistematizate datele privind factorii care determină eroziunea și condițiile de manifestare a acesteia;
- Au fost evidențiate areale expuse riscului eroziunii;
- A fost elaborat aparatul metodologic de modelare a eroziunii, adaptat la condițiile specifice ale Republicii Moldova în general și ale zonei de studiu în special;
- Au fost elaborate modelele spațiale (hărțile) ale erozivității precipitațiilor, erodibilității solului, riscului și ratei eroziunii;
- Au fost elaborate prognoze privind manifestarea proceselor erozionale în condițiile schimbărilor de mediu;
- Au fost elaborate propuneri privind estimarea și reducerea riscului eroziunii.

Importanța teoretică

Sunt evidențiate aspectele teoretico-metodologice ale modelării logico-matematice a eroziunii solului prin apă; sunt analizați factorii fizico-geografici și antropici de manifestare a proceselor erozionale în condițiile zonei de studiu; este adaptată metodologia de estimare a erozivității precipitațiilor pentru teritoriul Republicii Moldova.

Valoarea aplicativă a lucrării

Au fost elaborate modele (hărți) ale distribuției spațiale ale erozivității precipitațiilor, erodibilității solurilor, hazardului și riscului eroziunii prin apă a solurilor.

Aprobarea rezultatelor

Valoarea științifică a cercetării a fost confirmată în cadrul diverselor conferințe și simpozioane științifice dintre care menționăm: Simpozionul internațional „Sisteme

Informaționale Geografice”, 16-17 octombrie 2009, Universitatea „Al. I. Cuza” Iași, România; Simpozionul internațional „Sisteme Informaționale Geografice”, 9-10 noiembrie 2012, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România; Conferința Științifică Națională cu participare Internațională „Mediul și dezvoltarea durabilă”, 22-24 Mai 2014, Universitatea de Stat Tiraspol, Chișinău; Conferința Științifică cu participare Internațională „Probleme ecologice și geografice în contextul dezvoltării durabile a Republicii Moldova. Realizări și perspective”, 14-15 septembrie, Chișinău, 2016; Conferința Științifică Națională cu participare Internațională „Mediul și dezvoltarea durabilă”, 06-08 octombrie 2016, Universitatea de Stat Tiraspol, Chișinău; Conferința științifică „Atmosfera și Hidrosfera”, 24 septembrie 2016, Universitatea „Ștefan cel Mare”, Suceava, România; Adunarea Generală a Uniunii Europene a Științelor despre Pământ (EGU), 2017, SSS2.1 - Land Degradation and Development. A State-of-the-Art, Vienna, Austria, 23-28 April 2017; ș.a.

Implementarea rezultatelor

Rezultatele, reprezentate prin hărți de risc a eroziunii, au fost implementate de către autoritățile din raioanele administrative din zona de studiu. De asemenea, rezultatele au fost utilizate la pregătirea curriculum-ului și suportului de curs pentru cursurile universitare de „Pedologie cu elemente de protecție a solurilor”, „Hidrologie generală” și „Geoinformatică și analiză spațială” în cadrul Universității de Stat „Dimitrie Cantemir”.

Volumul și structura tezei

Teza este compusă din: Introducere, 4 capitole, Concluzii generale, Bibliografie cu 190 titluri, 140 pagini de text de bază, 42 tabele, 109 figuri și 8 anexe.

Sumarul compartimentelor tezei

La **Introducere** - se definește obiectul cercetării, care este procesul de eroziune a solului prin scurgerea de versant și subiectul tezei, constând în ***modelarea logico-matematică a eroziunii*** prin apă prin intermediul Sistemelor Informaționale Geografice (SIG), se scoate în evidență actualitatea temei, scopul și obiectivele principale, precum și se dezvăluie importanța teoretico-practică a lucrării.

Capitolul 1. Istoricul și gradul de cunoaștere asupra temei de studiu - este o trecere în revistă a istoricului și gradului actual de cunoaștere la tema studiului. Totodată, aici se prezintă o clasificare amplă, după diverse criterii, a modelelor eroziunii solului prin apă. Se constată că în evoluția cercetărilor privind dezvoltarea unor modele și modelarea eroziunii solului se pot evidenția mai multe etape, începând cu etapa primelor modele, empirice și fizice, concentrate spațial (0D) și terminând cu etapa actuală a modelelor de sinteză, distribuite spațial

(3D sau chiar 4D) și bazate pe Sisteme Informaționale Geografice. De asemenea, se stabilește că există o diversificare largă a modelelor privind eroziunea prin apă a solului, toate acestea având la bază fie algoritmi diverși (empirice, fizice), fie abordări variate (calitative, cantitative), la fel și caracteristici studiate (pierderi de sol, acumulare de aluviuni), scări spațiale de realizare a modelării (parcelă, versant, bazin), dar și temporale (eveniment unic, medie) și luând în calcul forme diferite ale eroziunii (laminară, șiroire, ravenare, la mal).

Capitolul 2. Condițiile de dezvoltare a eroziunii - se caracterizează exhaustiv zona de studiu, punându-se în evidență condițiile naturale de desfășurare a eroziunii. Condițiile naturale, precum și modificările antropice înregistrate în zona de studiu, se prezintă ca fiind favorabile pentru dezvoltarea proceselor erozionale; un rol important în acest sens jucându-l relieful, caracterizat prin prezența pantelor mai mari de 5^o (32,9%), o valoare medie ridicată a energiei reliefului, de 61,5 m, și o pondere de 6,61% a suprafețelor cu adâncimea fragmentării reliefului de peste 100 m, precum și o densitate a fragmentării reliefului care trece chir și de 2,5 km/km^2.

Capitolul 3. Materiale și metode de cercetare - face referire la materialele și metodele de cercetare utilizate. Așa, se descrie aparatul metodologic utilizat pentru estimarea parametrilor eroziunii solului și se analizează datele spațiale utilizate în calitate de date de intrare pentru modelare. Se constată că modelarea eroziunii solului prin scurgere de suprafață este un proces laborios, solicitant de un volum considerabil de date de intrare, referitoare la: caracteristicile morfometrice ale reliefului, intensitatea și cantitatea precipitațiilor, acoperirea/utilizarea terenurilor și practicile antierozionale. Energia cinetică a precipitațiilor determină erozivitatea inițială a precipitațiilor, iar lungimea și gradul de înclinare a versanților determină energia apei curgătoare – ca forțe erozive principale.

Capitolul 4. Analiza rezultatelor modelării eroziunii și depunerii - prezintă rezultatele modelării eroziunii în zona de studiu, inclusiv erozivitatea precipitațiilor, erodibilitatea solurilor, hazardul și riscul eroziunii. Se analizează comparativ rezultatele obținute prin diferite metode de calcul. Se analizează, de asemenea, distribuția spațială a parametrilor eroziunii de suprafață potențiale și estimate, evidențiindu-se arealele cu diferit grad de risc eroziv. Variabilitatea relativ mare a condițiilor climatice au ca rezultat un interval destul de larg al valorilor erozivității precipitațiilor în zona de studiu, valori cuprinse între 893,4 și 1161,5, la o medie de 1058,2 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}. Găsim astfel, factorul R ca fiind destul de variabil, din care cauză utilizarea regresiilor pentru determinarea valorilor erozivității trebuie făcută cu precauție. Cea mai bună estimare este dată de relația dintre factorul R și valorile indicelui Fournier (R^2=50,86%), în

comparație cu indicele Fournier modificat (IFM) și cantitatea anuală de precipitații (P) (R^2=27,04% și R^2=16,4%, respectiv).

La **Concluzii generale și recomandări** – sunt prezentate succint principalele rezultate ale cercetării, se aduc concluziile de rigoare în ceea ce privește dezvoltarea fenomenului eroziunii, posibilitățile de cercetare și măsurile de combatere.

Bibliografia – reprezintă lista surselor bibliografice și cartografice la tema studiului, care au fost consultate și la care s-a făcut referire în lucrarea în cauză.

1. ISTORICUL ȘI GRADUL DE CUNOAȘTERE ASUPRA TEMEI DE STUDIU

Prin **eroziune** se înțelege procesul de distrugere și deplasare a solului sau a rocii de suprafață, prin acțiunea unor agenți dinamici externi, dintre care cei mai activi sunt apa și vântul. Eroziunea face parte din procesele naturale care determină schimbarea continuă a suprafeței Pământului. Intensitatea proceselor de eroziune cât și ritmul fenomenului depind de agenții erozivi, de agresivitatea lor, de rezistența opusă de factorii care atenuează acest proces cât și de fluctuațiile spațio-temporale ale factorilor care favorizează producerea eroziunii.

Clasificarea proceselor de eroziune se poate face după mai multe criterii. Astfel, **după perioada de timp când s-a produs** eroziunea deosebim: ***eroziunea geologică veche*** și ***eroziunea contemporană***, **după intensitatea cu care se manifestă** eroziunea evidențiem: ***eroziunea normală*** și ***eroziunea accelerată***, iar **după factorul natural care contribuie** la producerea eroziunii se pot individualiza: ***eroziunea produsă de apă*** și ***eroziunea produsă de vânt*** (deflația și coraziunea) (Figura 1.1).

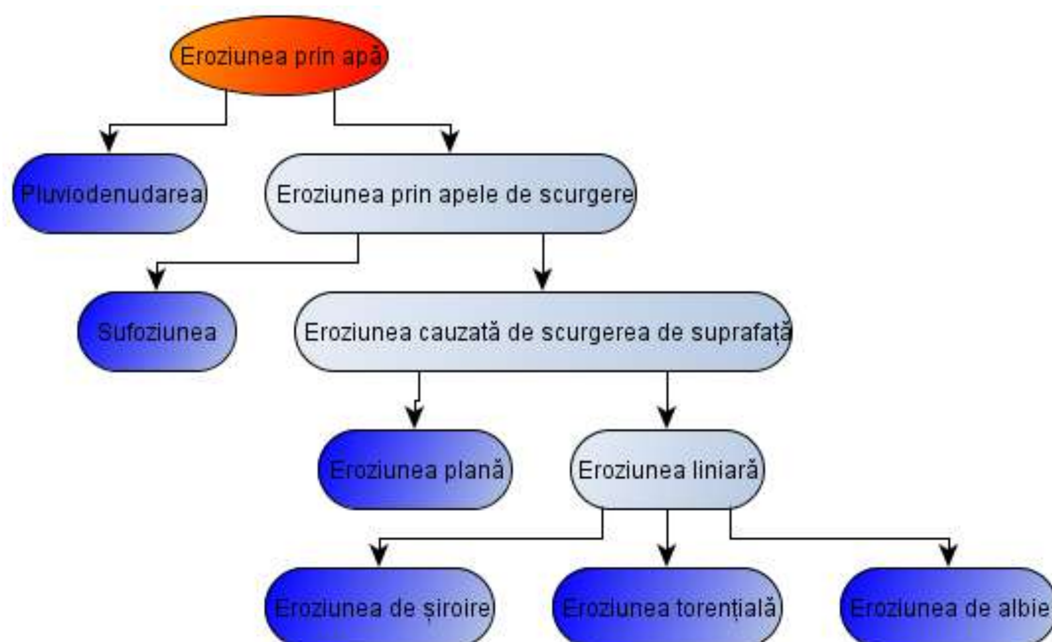


Fig. 1.1. Formele eroziunii prin apă

Eroziunea prin apă este cauzată de precipitații (pluviodenudația) și apele de scurgere. Apele provenite din precipitații formează **scurgerea de suprafață** și, prin infiltrație**, scurgerea subterană**. Aceste două forme de scurgere dau naștere, respectiv, **eroziunii de suprafață** și **eroziunii de sub-suprafață** (sufoziunea). Eroziunea de suprafață poate avea loc sub formă de: **eroziune plană** (eroziune în pânză, peliculară) și **eroziune liniară** (de adâncime). Aceasta din

urmă se poate divide în: **eroziune de șiroire**, **eroziune torențială** și **eroziune de albie** (Figura 1.2).

Precipitațiile determină scurgerea la suprafața versantului care este în funcție de intensitatea și durata lor, precum și de proprietățile suprafeței versantului.

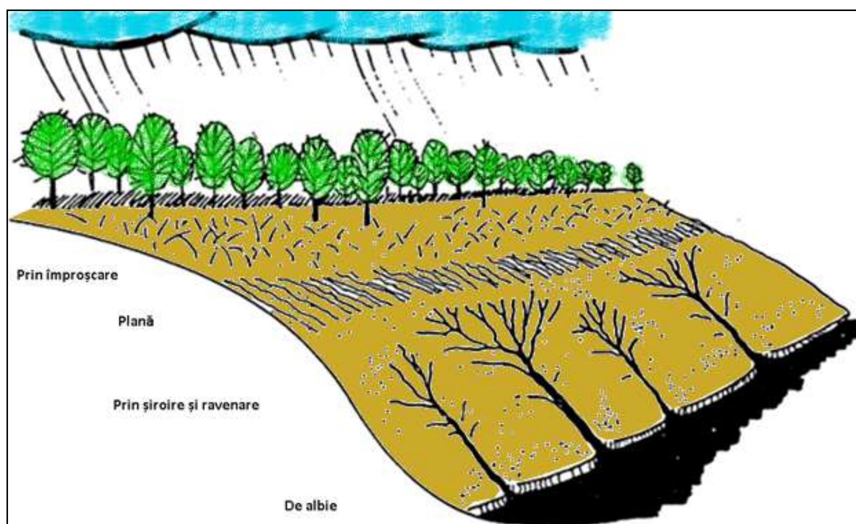


Fig. 1.2. Patru tipuri de eroziune a solului pe un versant expus [92, p. 9]

Suprafața versantului determină capacitatea de infiltrație, adică rata cu care suprafața versantului poate absorbi apa. Dacă intensitatea precipitațiilor depășește capacitatea de infiltrație, o parte din precipitații se va scurge la suprafață. Eroziunea este în funcție de puterea de erodare a picăturilor de ploaie, a apei curgătoare (erozivitate) și de erodibilitatea solului (Ecuația 1.1):

$$Eroziunea = f\left(Erozivitate, Erodibilitate\right) \tag{1.1}$$

Erozivitatea este capacitatea potențială a precipitațiilor sau scurgerii de a cauza eroziune, iar erodibilitatea este însușirea solului de a se opune eroziunii.

Pluviodenudația - eroziunea prin picături de ploaie, include două tipuri de acțiuni: de izbire/împroșcare și spălare. Intensitatea pluviodenudării este în funcție de energia cinetică a picăturilor de ploaie. Energia cinetică (E) a unei picături de ploaie având masa m și viteza v poate fi calculată din formula:

$$E = \frac{m \times v^2}{2} \tag{1.2}$$

Cantitatea de material desprins la suprafața solului (e) se poate obține, spre exemplu (Ecuația 1.3), din relația empirică dată de [69]:

(1.3)

$$e = 0{,}1 \times E_c - 0{,}515$$

Unde: E_c - energia cinetică produsă timp de 5 minute de o ploaie cu intensitatea de 25 mm/h.

Eroziunea de suprafață (areolară, peliculară, laminară) este realizată de scurgerea neconcentrată. Mișcarea peliculară a apei duce la desprinderea particulelor de sol și deplasarea lor spre baza versanților. Materialul desprins este transportat atât prin târâre, cât și în suspensie în pânza de apă. Depunerea materialului transportat are loc pe porțiunile de versant cu pantă redusă sau chiar la baza acestuia sub formă de coluviu.

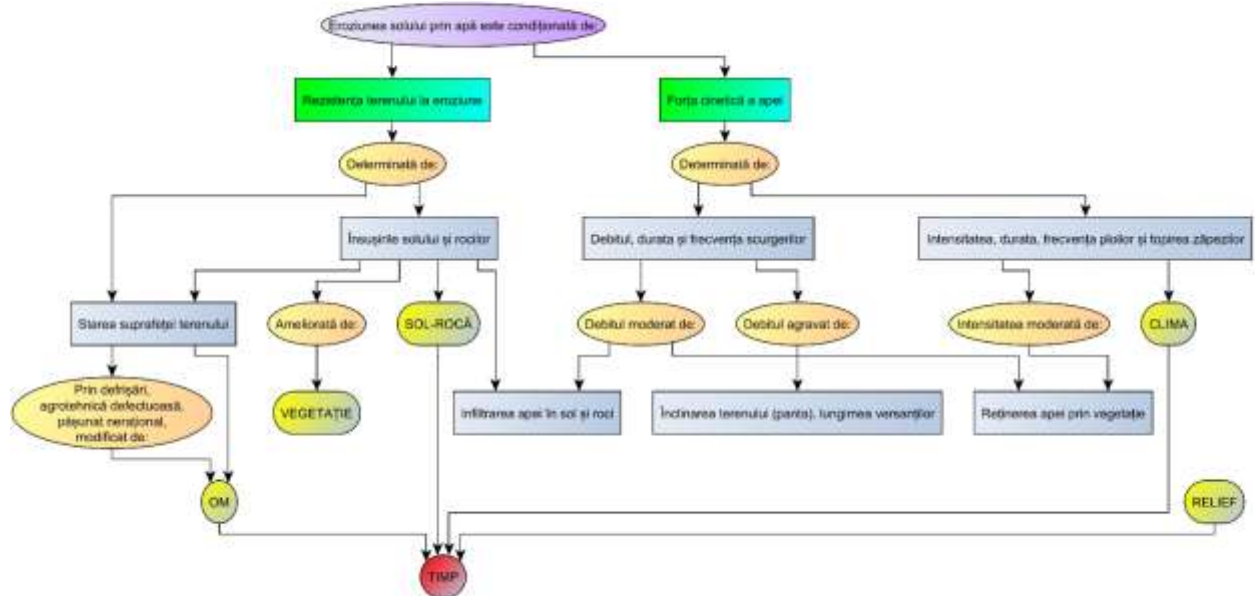


Fig. 1.3. Principalii factori ce intervin în procesul eroziunii [3]

Eroziunea prin curenți concentrați (liniară, de adâncime) – trecerea de la eroziunea peliculară la cea de adâncime se face odată cu concentrarea scurgerii și trecerea de la curgerea laminară la cea liniară/turbulentă. Eroziunea liniară este determinată, progresiv, de șuvițe de apă, la cele mai mici șiroaie și șuvoaie, până la torente vertiginoase, cauzând dezvoltarea unor forme de relief erozional (organisme torențiale) ca: rigolele (făgașele), ogașele și ravenele. Torenții sunt cele mai dezvoltate forme create de către scurgerile alimentate din ploi și topirea zăpezilor.

Prin eroziune normală înțelegem eroziunea imperceptibilă produsă în condiții normale, neinfluențate de acțiunea omului și al cărui efect se face resimțit numai după perioade foarte mari de timp. Eroziunea normală poate fi compensată prin acțiunea naturală de regenerare a solului, deci se poate considera ca un fenomen nevătămător (Figura 1.3).

Prin eroziunea accelerată se înțelege eroziunea a cărei intensitate este mai mare decât capacitatea de regenerare naturală a solului. Prin eroziunea accelerată solul se degradează și își pierde capacitatea de producție.

1.1. Istoricul și gradul de cunoaștere asupra temei

Măsurile de control asupra eroziunii pot fi aplicate cu succes doar atunci când natura fenomenului eroziunii și eficacitatea măsurilor luate în condiții concrete sunt studiate suficient. Aceste aspecte sunt studiate în cadrul **științei erodologiei solului**. Scopul acesteia este de a acumula cunoștințe în domeniu, de a obține în baza acestora generalizări, de a formula principii ale protecției și conservării solului și de a elabora metode de îmbunătățire a proprietăților solurilor erodate [28].

Erodologia, ca ansamblu de informații științifice referitoare la eroziune și controlul eroziunii, este o ramură tânără a științelor, chiar dacă pericolul eroziunii și diferite metode de control al eroziunii au fost cunoscute oamenilor din timpuri imemorabile. Până în sec. XIX-lea aceste informații au purtat un caracter mai mult sau mai puțin empiric și local. Dezvoltarea erodologiei ca teorie a eroziunii în general a fost un proces complex, la care au contribuit și numeroși specialiști din alte domenii. Concepția cea mai largă asupra eroziunii a fost dezvoltată de geomorfologi, geografi, și geologi precum A. Penck (1894), W.M. Davis (1898, 1902), care au considerat eroziunea în termenii dezvoltării suprafeței Pământului sub influența factorilor exogeni.

Pedologii au început să studieze eroziunea în termeni mult mai concreți. Dintre aceștia, primul care a remarcat pericolul eroziunii a fost V. Dokuceaev (1877, 1879) – părintele pedologiei. De numele acestuia și a discipolilor săi se leagă o întreagă etapă de cercetare a eroziunii solului și luptei contra acestui fenomen. Un rol important pentru cunoașterea legităților de desfășurare a eroziunii solului îl au cercetărilor lui V. Dokuceaev privind influența reliefului asupra eroziunii și acumulării. V. Dokuceaev a avut și o contribuție însemnată la studierea științifică a fostei gubernii ruse Basarabia.

Mai devreme, în 1856, a văzut lumina tiparului harta „Repartizarea solurilor de la Prut până la Ingul” și textul descriptiv însoțitor al agronomului și geografului A. Grossul-Tolstoi. El a divizat guberniile Basarabia și Herson în patru „fâșii pedologice”, punând astfel începutul geografiei științifice a solurilor acestui teritoriu. În această lucrare se regăsesc primele informații asupra eroziunii solurilor teritoriului actual al Republicii Moldova.

O altă contribuție importantă la domeniul erodologiei provine din principiile controlului asupra torenților și avalanșelor. Aceste principii își au originea în țările alpine ale Europei, începând cu a doua jumătate a sec. al XIX-lea. Primii specialiști din acest domeniu au fost francezi. Aceștia, de asemenea, au fost și autori a indicațiilor privind conservarea solului în regiunile montane și controlul inundațiilor. Pe lângă lucrările lui A. Surell (1870), se poate de menționat lucrarea clasică a lui P. Demontzey (1878) devenită punct de pornire pentru dezvoltarea rapidă a controlului torenților în multe țări europene [197].

Pe lângă aceștia, și specialiștii afiliați altor discipline științifice au adus contribuții semnificative la stabilirea științei erodologiei solului. Printre aceștia au fost: specialiști din domeniul protecției apelor, glaciologi, geobotaniști, agronomi, silvicultori etc. Hidrologii studiază fenomenul dat în special din punctul de vedere al dezvoltării rețelei hidrografice, glaciologii investighează acele aspecte ale eroziunii care se referă la formarea și distrugerea formelor de relief sub acțiunea gheții, zăpezii, apei, vântului și înghețului, geobotaniștii studiază eroziunea în sensul relațiilor dintre condițiile de mediu și vegetație, agronomii accentuează importanța conservării teritoriilor cultivate iar silvicultorii studiază eroziunea solului din punctul de vedere al protecției solurilor silvice, în special cu privire la îmbunătățirile forestiere.

În paralel, studii referitoare la eroziune, factorii determinanți ai acesteia și efectele ei s-au desfășurat și în alte state ale lumii, unde problema dată a reușit să atragă atenția cercetătorilor prin amploarea și efectele sale. Astfel, între 1877 și 1895 germanul E. Wollny realizează primele experimente privitor la efectul precipitațiilor atmosferice asupra spălării solului pe parcele erozionale mici [197].

Studii specifice privind eroziunea liniară și plană realizează A. S. Kozmenko (1909-1910), însă efectele dezastruoase ale eroziunii asupra oamenilor sunt evidențiate de către conservaționiștii americani H. H. Bennett și W. R. Chapline (1928). A. S. Kozmenko împreună cu colaboratorii a elaborat un set de măsuri anti-erozionale pentru zona de silvostepă a părții europene a ex-URSS.

În dezvoltarea conceptului de știință a eroziunii, definirea termenului de **eroziune a solului** a avut o importanță majoră. Termenul de eroziune a solului, în literatura anglofonă, a fost utilizat pentru prima dată de W. J. McGee (1911). Mai târziu termenul apare în primele monografii asupra subiectului dat, printre care „Soil erosion and its control” de Q. C. Ayres (1936), și exhaustiva lucrare „Эрозия почв” publicată în 1937 de un grup de coautori ruși. Studiile din acest domeniu în alte limbi apar mult mai târziu, mai ales după anul 1947.

H. H. Bennett, specialist american în domeniul protecției mediului, este considerat a fi fondatorul științei eroziunii, pe care acesta o introduce și dezvoltă în lucrarea sa „Soil Conservation” publicată în 1939, și mai apoi, în 1955 în „Elements of Soil Conservation”.

În Statele Unite, studii organizate asupra eroziunii încep cu anul 1907, atunci când Departamentul Agriculturii declară protecția terenurilor drept una dintre politicile sale de interes.

Prima expresie matematică a eroziunii solului prin apă este stabilită de A. W. Zingg (1940), fiind menită de a evalua efectul lungimii și înclinării versanților asupra eroziunii. D. D. Smith (1941) introduce conceptul de *pierderi admisibile de sol* și evaluează efectul culturilor și al protecției mecanice împotriva eroziunii. G. W. Musgrave și colaboratorii dezvoltă în 1947 o ecuație empirică (Ecuația 1.4) cunoscută și ca *ecuația practicilor de versant*, de forma [147]:

Ecuația 1.1

$$E_r = T_p \times S_l \times L_n \times A_p \times M_p \times R_f$$

Unde: E_r - Eroziunea solului; T_p - Tipul solului; S_l - Panta versantului; L_n - Lungimea versantului; A_p - Practicile agricole; M_p - Protecția mecanică a solului; R_f - Precipitațiile atmosferice.

Ecuația Musgrave a fost utilizată în anii următori, până când nu a fost înlocuită, în 1958, de cunoscuta Ecuație Universală a Pierderilor de Sol (USLE).

În fosta Uniune Sovietică, studii importante din acest domeniu au fost publicate de A. S. Kozmenko (1956), S. S. Sobolev (1950), N. I. Makkaveev (1955), V. V. Zvonkov (1963), M. N. Zaslavski (1966, 1970, 1979, 1983), S. E. Mirțhulava (1967, 1970) etc. [20, 197].

În România, abordarea științifică a fenomenului s-a făcut doar după anul 1943, în cadrul Laboratorului de Eroziune a Solului de la Institutul de Cercetări Agronomice, iar mai târziu în cadrul Ministerului Agriculturii, a Academiei de Științe Agricole și Silvice (ASAS), a universităților agronomice etc. Studiile au fost conduse la început de *Ir. Staicu (1945)* și au stabilit legătura dintre eroziunea solului și pantă, precum și efectele eroziunii asupra recoltelor.

Pe baza cercetărilor acumulate, în 1955 a fost realizată de către Ministerul Agriculturii o hartă a eroziunii solului în România, hartă care a folosit lui M. Moțoc (1959, 1963) în elaborarea unei raionări a proceselor de eroziune a solului.

Probleme teoretico-practice privind indicatorii eroziunii solului sunt tratate în lucrările lui: M. Moțoc și A. Vătau (1992); M. Moțoc și R. Vintilă (1995); M. Moțoc (2000).

Factorii care determină riscul eroziunii hidrice sunt precăutați, printre alții, de: P. Stănescu, Iu. Taloiescu și L. Grăgan (1969); P. Stănescu și L. Drăgan (1970); P. Olariu și D. Gheorghe (1999); M. Moțoc și M. Sevastel (2002).

Problema dezvoltării proceselor erozionale este dezvoltată de: Ir. Staicu (1945); R. Gaşpar, E. Untaru, F. Roman și C. Cristescu (1982); M. Moțoc (1983); I. Ioniță și O. Ouatu (1985); I. Ichim, N. Rădoane și M. Rădoane (1998); I. Ioniță, M. Rădoane și S. Mircea (2006); I. Ioniță (2007); M. Dârja, T. Sălăgean și F. Matei (2011) ș.a.

Procesele de ravenare au fost studiate de: Maria Rădoane (1999); I. Ioniță (2000, 2006); M. Sevastel (2003); S. Mircea (2006); C. Maftei (2007).

Măsurile și metodele de luptă împotriva eroziunii solului sunt studiate de: V. Băloiu și V. Ionescu (1986); N. Popovici (1991); S. Mircea (1997); N. Popa, D. Nistor și Doina Nistor (2005); G. Biali și N. Popovici (2006); D. Bucur, G. Jităreanu și C. Ailincăi (2011); C. Ailincăi, G. Jităreanu, D. Bucur și Ad. Mercuș (2011) ș.a.

De cartarea și estimarea eroziunii s-au ocupat: M. Moțoc, P. Stănescu, Luminița Taloiescu (1979); M. Moțoc (1983); I. Ioniță și R. Mărgineanu (2000); I. Ioniță, R. Mărgineanu și C. Hurjui (2000); O. Iacobescu, I. Ciornei, I. Bărnoaiea și Șt. Hogaş (2006).

Cu modelarea computerizată a eroziunii prin apă sau ocupat: M. Mihăiescu, T. Man, M. Oncu (2004), I. C. Stângă (2004), C. V. Patriche, V. Căpățână, D. L. Stoica (2006), T. Anghel, Ș. Bilaşco, M. Oncu (2007), T. Anghel, S. Todică (2008), P. Cârdei, V. Herea, V. Muraru, Raluca Sfaru (2009), Șt. Bilaşco, C. Horvath, P. Cocean, V. Sorocovschi, M. Oncu (2009), B. Onac (2009), P. Cârdei (2010), Sorina Dumitru, Victoria Mocanu, M. Eftene, Valentina Coteț (2010), Corina Arghiuș, V. Arghiuș (2011), Iuliana Cornelia Niculiță (2011), Raluca Alexandru, G. Cătescu, Florina Grecu, M. Paisa (2012), Gabriela Biali, C. V. Patriche, V. L. Pavel (2014), Gh. Damian, D. Năsui, Floarea Damian, D. Ciurte (2014).

Evenimentul cheie al cercetărilor asupra eroziunii solului l-a constituit adaptarea Ecuației Universale a Eroziunii Solului (Ecuația 1.5) la condițiile specifice României [19].

$$E = K \times L_m \times I_n \times S \times C \times C_S \tag{1.5}$$

Unde: E - rata medie anuală a eroziunii efective (t ha^{-1} an^{-1}); K - coeficient de corecție pentru agresivitatea pluvială $K = \frac{100 \times E_{ps} \times A_p}{L_{0,5} \times I_{1,45}}$ (eroziunea pe parcelele standard de control a eroziunii; A_p - agresivitatea pluvială - $A_p = e \times I_{15} \times H_{0,5}$; L și I - lungimea (m) și panta versantului (%); S - coeficient de corecție pentru erodibilitatea solului; C - coeficient de corecție pentru efectul culturilor; C_s - coeficient de corecție pentru efectul lucrărilor de combaterea eroziunii solului; m = 0,3; $I_n = 1,36 + 0,97 \times i + 0,381 \times i^2$, unde *i* este panta medie a versantului.

În prezent, cercetările efectuate de Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie București (ICPA), modele de simulare a bilanțului apei în sol, modele privind prognoza pierderilor de sol de uz agricol prin eroziune și alunecări de teren) precum și de Centrul de Cercetare - Dezvoltare pentru Combaterea Eroziunii Solului Perieni, jud. Vaslui vor conduce la îmbunătățirea modelului ROMSEM (Romania Soil Erosion Model).

În Republica Moldova, la sfârșitul anilor '40 – începutul anilor '50 ai sec. al XX-lea ia start cercetarea largă a eroziunii solului în fosta Republică Sovietică Socialistă Moldovenească. Un rol important în studierea solurilor în general dar și a eroziunii solului l-a avut N. Dimo, din a cărui inițiativă a început cartografierea detaliată a solurilor unor gospodării agricole, iar ulterior și a unor raioane administrative întregi. În 1950, M. Zaslavski a fost desemnat conducător al Stațiunii anti-erozionale nou-create, la inițiativa lui N. Dimo, pe lângă Filiala Moldovenească a Academiei de Științe a URSS și care a fost transformată mai târziu în Secția pentru Protecția Solului Contra Eroziunii a Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „N. Dimo”. Colaboratorii instituției elaborează, testează și recomandă un sistem complet de măsuri privind protecția anti-erozională a solurilor, inclusiv măsuri organizaționale, agrotehnice, fito-ameliorative și hidrotehnice. A fost elaborată schema generală a măsurilor anti-erozionale pentru întreg teritoriul republicii și scheme complexe speciale pentru o parte din raioanele administrative [37]. În baza studiilor realizate în cadrul acestei instituții pe parcursul a 15 ani, în 1966 apare lucrarea lui M. Zaslavski „Эрозия почв и земледелие на склонах”.

În timp au apărut și o serie de lucrări cu caracter geografic și cu referire la teoria științei pedologiei, precum și a unor aspecte de regionare și clasificare a solurilor Republicii Moldova. Putem enumera aici lucrările lui: M. Zaslavski (1972), I. Krupenikov (1967, 1992), I. Krupenikov, A. Ursu et al. (1965), I. Krupenikov et al. (1981), A. Ursu (2001).

Studierea factorilor erozionali s-a realizat destul de exhaustiv, pe lângă pedologi, de asemenea, de către geomorfologi și hidrologi. Astfel se cunosc lucrările lui: V. Fedotov și D. Ghermaniuc (1971), H. Bogdanov și V. Slastihin (1973), O. Melniciuc (1974), D. Ghermaniuc (1976), O. Melniciuc și M. Voloșciuc (1980).

Solurile erodate au constituit o preocupare importantă a cercetătorilor. Astfel apar lucrări la acest aspect aparținând autorilor: I. Krupenikov et al. (1966), A. Atamaniuc, P. Vladimir, L. Karaptian (1977), T. Donos (1977, 1984), M. Voloșciuc, O. Melniciuc, V, Zagarovschi (1982), I. Șilihina (1984), V. Alexeev, K. Arapu (1987), A. Ursu et al. (2005).

Calcularea ritmului și riscului eroziunii, o problemă pe cât de complexă pe atât de importantă, a fost subiectul mai multor lucrări, inclusiv cele aparținând autorilor: H. Bogdanov

(1971), Gh. Şvebs (1974), Iu. Petrov și V. Slastihin (1976), V. Fedotov (1976), A. Kapuș et al. (1986), V. Cerbari și I. Krupenikov (1994).

De o importanță deosebită sunt lucrările cu caracter monografic și atlasele tematice, cum ar fi lucrările: *Eroziunea solului: Esența, consecințele, minimalizarea și stabilizarea procesului*, apărută în 2004 [20], și *Solurile Moldovei* [35, 23]. De asemenea, de importanță deosebită sunt lucrările lui M. Zaslavski - *Эрозия почв* (1979), și *Эрозиоведение* (1983).

Etapele modelării eroziunii prin apă a solului

În evoluția cercetărilor privind dezvoltarea unor modele și modelarea eroziunii solului, la nivel mondial, se pot evidenția mai multe etape:

1) Etapa primelor modele, sfârșitul anilor 30 - sfârșitul anilor 50 ai sec. XX. Se elaborează primele modele, bazate pe informații faptice rudimentare, precum și pe un aparat teoretic incipient. Toate modelele elaborate, empirice și fizice, erau concentrate (0D), adică operau cu valori medii la nivel de versant/bazin ale datelor de intrare, iar rezultatul fiind valorile medii pentru întreg versantul/bazinul.

2) Etapa apariției modelelor simple explicative, se încununează cu elaborarea Ecuației Universale a Eroziunii Solului (USLE – Universal Soil Loss Equation) la care și-au adus contribuția: H. L. Cook (1936), A. W. Zingg (1940), D. D. Smith și D.M. Whitt (1947), G.W. Musgrave (1947) și W.H. Wischmeier (1955, 1958, 1972, 1976).

3) Etapa dezvoltării modelelor empirice și deterministe s-a finalizat cu elaborarea următoarelor modele: RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation (1979) – o revizuire a modelului USLE, ANSWERS - Areal Non Point Source Watershed Environment Response Simulation, EPIC - Environmental Policy Integrated Climate, AGNPS - AGricultural Non-Point Source Pollution Model.

4) Etapa modelelor de tip determinist bazate pe fizica proceselor, în care ponderea ecuațiilor empirice a fost limitată. S-au remarcat modele ca: CREAMS, LISEM, WEPP, EUROSEM, GLEAMS, KINEROS2, PESERA, SERAE, STREAM, SWAT, WATEM, etc.

5) Etapa modelelor de sinteză, bazate pe Sisteme Informaționale Geografice, pe sisteme expert și funcții cu mai multe variabile. Întrucât modelele fizice WEPP și EUROSEM nu întotdeauna au dat rezultate mai bune în raport cu USLE sau RUSLE, revizuirea și îmbunătățirea modelelor fizice existente reprezintă direcții actuale de analiză interdisciplinară și de conectare la datele experimentale [131].

1.2. Tipologia modelelor privind eroziunea solului

Revoluția cantitativă în cercetările științifice din anii 1950-1960 a asigurat geografia cu un nou instrument – modelele. Multe dintre modelele apărute la acel moment au avut la bază Teoria Generală a Sistemelor de K. L. von Bertalanffy (1934). Această teorie studiază elementele sistemelor și interacțiunile dintre acestea.

Procesele diferă în ceea ce privește **scara temporală și spațială** la care decurg, **obiectele afectate** de procesele în cauză, **schimbările produse**, care pot fi discrete sau continui, precum și prin **forțele generatoare**. După [162], procesele de tip continuu determină schimbări incrementale fără de salturi. Procesele discrete, dimpotrivă, determină schimbări graduale, numite evenimente (pași), urmate de stări – perioade fără de schimbare [162].

Principalele concepte ale geografiei sunt: **spațiul, relațiile spațiale** și **schimbările în spațiu** [105]. Procesele care interesează geografia – procesele geografice (spațiale) sunt mecanisme care produc structuri spațiale.

Procesele spațiale din lumea reală sunt procese tridimensionale, dependente de timp, complexe, adesea non-liniare, stocastice. Atunci când se vrea a analiza efectul proceselor spațiale, este necesar de a crea și aplica **modele ale acestor procese**. Modelele abstractizează de la detaliile lumii reale deosebit de complexe și ne oferă **o reprezentare ușor de gestionat a realității**. Modelele servesc scopului de a descrie părți ale realității, de a prezice efectele unor procese și fenomene, sau de a evalua scenarii alternative pentru scopuri de planificare și management [114].

O clasificare generală a modelelor este oferită de [171]. Autorii diferențiază trei tipuri de modele: **modele reduse la scară, modele conceptuale** și **modele matematice**. Modelele reduse la scară includ careva abstracții de la realitate și sunt *modele analoage*; spre exemplu, **o hartă** este un model la scară a lumii reale. Modelele conceptuale încearcă să descopere în ce mod funcționează un sistem, identificându-i componentele și relațiile dintre acestea.

Procedura de realizare a modelelor, în general, include următorii pași: formularea (conceptualizarea) modelului, completarea modelului cu variabile și parametri și testarea modelului [114]. Formularea unui model necesită de a decide: **care procese vor fi luate în considerație** și **ce scări spațiale, temporare** și **a complexității vor fi aplicate** [158]. Completarea modelului cu valori ale variabilelor și parametrilor se leagă de o problemă majoră a modelării, cea a **achiziționării de date de intrare** la rezoluția spațio-temporală cerută de model. Eroziunea solului este consecința a unui număr mare de factori cauzatori de diferită importanță, care interacționează într-o manieră complexă [71], făcând astfel modelarea procesului eroziunii de natură fizică, deosebit de dificilă și în mare măsură subiectivă.

Modelul bazinului hidrografic este un exemplu de model conceptual des utilizat, având componente precum: substratul geologic și solul, vegetația și tipul de acoperire a terenului, apele subterane, apele de suprafață etc. Aceste elemente sunt interconectate prin fluxuri de materie (apă, aluviuni etc.) și energie care treptat modifică compoziția și aspectul/forma sistemului [171].

Transpunerea modelelor conceptuale în limbaj matematic generează modelele matematice. Acestea sunt echivalente cu modelele computaționale implementate pentru a fi rulate pe un calculator [89].

R. W. Thomas și R. J. Huggett [171] vorbesc despre două grupuri de modele matematice: **deterministe** și **probabiliste**. În geografia fizică sunt utilizate mai ales metodele deterministe, în cadrul cărora sistemul poate fi descris în baza legilor fizice.

Pe lângă împărțirea modelelor matematice în deterministe și probabiliste, mai există și alte clasificări a acestora: **modele liniare** și **non-liniare; modele statice** și **dinamice -** modelele statice cuprind evenimente descrise de variabile care nu depind de timp; **modele concentrate** și **distribuite -** când un model este eterogen și parametrii variază avem de a face cu un model distribuit. Subcategorii aparte de modele computaționale utilizate în geografia modernă sunt modelele de tip **celular automata** și **cele bazate pe agenți**. Toate modelele privind eroziunea solului sunt de tip **predictiv**, constând în prezicerea ieșirilor având în vedere un set de condiții [61].

Tab. 1.1. Principalii parametri și opțiuni privind modelarea eroziunii hidrice [104]

Parametri modelare	Opțiuni modelare
Extindere	Parcelă / Versant / Bazin hidrografic / Peisaj
Durată	Eveniment eroziv unic / Medie
Factori	Climă / Relief / Sol / Vegetație
Procese	Pluviodenudație / Detașare prin scurgere / Transport prin scurgere
Caracteristici	Pierderi de sol / Depunere / Producție de sedimente
Forme	Laminară / Șiroire / Ravenare / De mal
Algoritm	Empiric / Fizic
Abordare	Calitativă / Cantitativă

Spațiul și datele spațiale joacă un rol important în modelarea unor procese geografice. Modelarea proceselor are ca scop, nu doar de a determina mărimea schimbărilor, intervenite datorită acțiunii unor procese, ci și de a determina distribuția spațială a acestor schimbări. În acest sens, Sistemele Informaționale Geografice vin să ajute la analiza fenomenelor geospațiale.

SIG sunt instrumente valabile pentru gestionarea, analiza și vizualizarea datelor spațiale [50], fără să ofere însă atenția și suportul cuvenit modelării de procese naturale (și nu doar), din

cauza unor limitări în ceea ce privește capacitatea de a reprezenta spațiul, mai ales spațiul multidimensional (3D, 4D). La acestea se mai adaugă și limitările legate de dificultatea de moment de a modela timpul, astfel că, hărțile, reprezintă adesea construcții statice, incapabile de a reproduce fidel procesele spațio-temporale.

În prezent se cunosc patru tipuri de abordări a cuplării Sistemelor Informaționale Geografice și a instrumentelor de modelare spațială: **cuplare slabă**, **cuplare strânsă**, **SIG cu instrumente de modelare integrate** (LISEM, PCRaster, GRASS GIS) și **sisteme de modelare cu funcționalitate SIG limitată** [169].

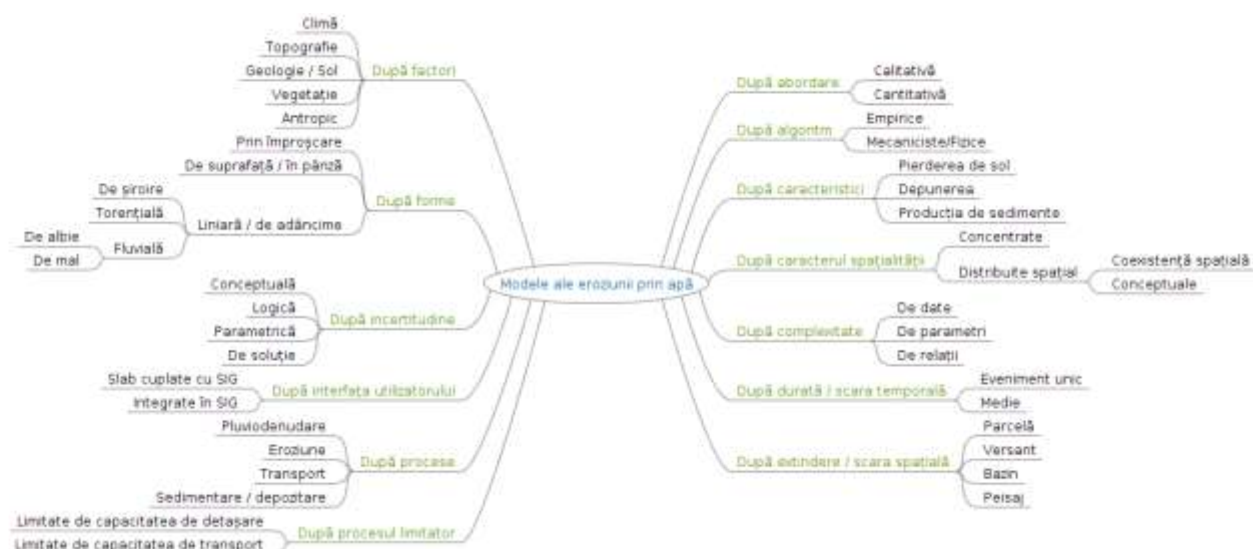


Fig. 1.4. Clasificarea modelelor eroziunii prin apă după diverse criterii

Dacă un model este descris în totalitate și este operațional, este absolut necesară calibrarea acestuia (parametrii modelului sunt corectați până în momentul în care datele de ieșire sunt acceptabile), validarea (se determină dacă datele de ieșire ale modelului reflectă valori realistice, prin compararea acestor date de ieșire cu date obținute prin observațiile din teren) și analiza senzitivității (evaluarea gradului de răspuns a modelului la modificările de parametri și în consecință determinarea celor mai importanți parametri) [132].

Modelele privind eroziunea prin apă sunt numeroase și pot fi clasificate, după diferite criterii, după cum urmează (Tabel 1.1, Figura 1.4):

1) După forma eroziunii

Procesele erozionale dominante, odată cu deplasarea în jos pe versanți, se așteaptă să urmeze ordinea următoare: ***prin împroșcare → în pânză → de șiroire → de ravenare → fluvială*** (Tabel 1.2).

Majoritatea modelelor erozionale tind să prezică eroziunea pentru unul dintre aceste tipuri sau, în cel mai bun caz, pentru câteva componente. În cazul modelări la scara unui bazin

hidrografic, aceasta crește posibilitatea ca în anumite sectoare a bazinului procesele considerate de model ca fiind reprezentative, să nu fie tocmai așa [118]. Deci, majoritatea modelelor erozionale tind să prezică doar una dintre formele cunoscute ale eroziunii și drept urmare, procesele care au loc nu sunt reprezentate suficient de bine.

Tab. 1.2. Forme ale eroziunii și efectele lor

Tip de eroziune	**Agent**	**Faza**	**Localizare**	**Efecte**
Eroziunea prin picătură	Picături de ploaie cu energie cinetică mare	- distrugerea agregatelor din stratul 0-2 cm de la suprafața terenului; - împroșcarea materialului rezultat; - aterizarea materialului.	- nanorelieful și microrelieful natural sau artificial (coame de brazdă, spinări, etc.)	- remanierea locală prin segregare parțială a particulelor rezultate; - netezirea suprafețelor
Eroziunea prin curenți bidimensionali (eroziunea decapantă sau laminară)	Curenți peliculari și dispersați încărcați cu material cu vâscozitate mare	- distrugerea agregatelor de la suprafața terenului; - roaderea orizontului superior al profilului de sol; - transportul materialului solid; - depunerea materialului grosier.	- microrelieful și mezorelieful versanților (porțiuni uniforme ale versanților)	- deteriorarea configurației suprafeței terenului prin șiroire; - segregarea parțială a materialului prin depunere selectivă.
Eroziunea prin curenți concentrați (eroziunea tranșantă sau lineară)	Curenți unidimensionali încărcați cu material solid	- roaderea profilului de sol; - transportul materialului; - depunerea materialului la schimbări importante de pantă, la piciorul versanților sau la confluențe.	- microrelieful terenului (versanți și bazine hidrografice)	- fragmentarea versanților prin ravenare; - declanșarea altor forme de degradare; - aluvionarea unor zone.

După unii autori, transportul materialului detașat poate avea loc ca rezultat al acțiunii cumulate sau separate a picăturilor de ploaie și/sau a scurgerii. Astfel, se identifică 4 sisteme de detașare/transport [106]:

- Detașare prin picături și transport prin împroșcare a picăturilor (RD-ST).

- Detașare prin picături și transport prin scurgere inițiată de picături (RD-RIFT).
- Detașare prin picături și transport prin scurgere (RD-FT).
- Detașare prin scurgere și transport prin scurgere (FD-FT).

Eroziunea prin împroșcare (datorată impactului picăturilor de ploaie), rezultă din consumul de energie cinetică a picăturilor. Eroziunea prin apă, în general, are lor doar dacă se produce detașarea particulelor de sol mai întâi. Este un factor major pentru realizarea eroziuni în pânză și de șiroire.

Prin eroziunea *în pânză*/laminară se are în vedere detașarea și deplasarea uniformă a particulelor de sol sau rocă prin scurgere de suprafață și/sau datorită impactului picăturilor de ploaie distribuite uniform pe versant. Împreună cu eroziunea prin șiroire, constituie scurgerea de suprafață, fiind luate adesea în considerație împreună la modelarea eroziunii.

Se cunosc mai multe încercări de modelare a eroziunii în pânză, începând cu M. Nichols și J. D. Sexton (1932), care au stabilit că intensitatea precipitațiilor este mai importantă decât cantitatea de precipitații în producerea eroziunii.

În baza experimentelor, se găsește ecuația care descrie relația dintre eroziunea în pânză și intensitatea precipitațiilor [119]:

(1.6)

$$E = a \times I^b$$

Unde: E (t ha^{-1} h^{-1}) – rata pierderilor de sol, I (mm min^{-1}) – intensitatea precipitațiilor, b - coeficient și a – factorul erodibilității dependent de condițiile de sol și acoperire a terenului. După același autor, b variază între 1,63 și 2,30 și, cu excepția solurilor cu un conținut foarte mare de argilă, b este egal cu 2.

Ecuația 1.6 a fost mai târziu adusă la forma:

(1.7)

$$D_i = K_i \times I^2$$

și utilizată în versiunea originală a modelului WEPP ca ecuație pentru calcularea eroziunii în pânză; a fiind înlocuit cu K_i (kg s m^{-4}) – erodibilitatea laminară, iar E cu D_i (kg m^{-2} s^{-1}) – rata eroziunii laminare [134].

P. I. A. Kinnell (1991) propune a lua în calcul și efectul scurgerii (nu doar al precipitațiilor) în producția de sedimente astfel că eroziunea laminară (interrill), după el, trebuie să ia în considerație atât precipitațiile, cât și scurgerea, fapt regăsit în versiunea curentă a modelului WEPP, unde q (m s^{-1}) (Ecuația 1.8) este rata eroziunii laminare [76]:

$$D_i = K_i \times I \times q \quad (1.8)$$

Există o serie de alte formule destinate calculului eroziunii laminare, toate având of formă similară cu Ecuația 1.8, deosebindu-se doar prin valoarea coeficienților aplicați.

Eroziunea prin șiroire (rill erosion) are loc atunci când apa în mișcare la suprafața solului/rocilor se canalizează făgașe - canale caracteristice și ușor de recunoscut, știute și sub numele de rigole [150]. În general, rigolele sunt forme de relief mici, care pot fi ușor distruse prin cultivarea terenului prin arătură. Agentul modelator, în cazul eroziunii prin șiroire, este apa aflată în proces de scurgere concentrată, iar procesul este controlat de factori ca: coeziunea particulelor de sol/rocă și forțele de forfecare exercitate asupra solului [134].

Există câteva modele capabile să prezică ratele eroziunii prin șiroire și ravenare (CREAMS, WEPP, SWAT, EGEM). Modelul EGEM (The Ephemeral Gully Erosion Model) a fost dezvoltate în special pentru prezicerea pierderile de sol prin eroziune liniară. În același timp, modelele empirice, precum USLE, nu sunt adaptate să ia în considerație eroziunea liniară severă, în estimarea ratelor eroziunii solului.

Eroziunea prin ravenare, spre deosebire de eroziunea prin șiroire, se realizează prin producerea de canale care nu pot fi eliminate prin cultivare [150]. Torenții antrenați în procesul de ravenare se deosebesc de șuvoaie prin faptul că impactul picăturilor de ploaie nu este important în ceea ce privește detașarea sedimentelor [41].

Eroziunea fluvială implică înlăturarea directă a sedimentelor de la maluri (eroziune laterală) și de pe patul albiilor (eroziune de fund).

2) După interfața utilizatorului

Eroziunea solului este influențată, printre altele, de eterogenitatea spațială a reliefului, vegetației, proprietăților solului și utilizării terenului. Adesea, modelele care prezic eroziunea nu examinează problema într-un context spațial, iar în acest caz Sistemele Informaționale Geografice devin un instrument important. Un SIG este „o colecție organizată de hardware, software, date geografice și personal, concepute pentru capturarea, stocarea, actualizarea, manipularea, analiza și vizualizarea tuturor formelor de date georeferențiate" (ESRI, 1994). Avantajele cuplării modelelor privind eroziunea solului cu SIG sunt:

- Face posibil de a genera rapid date de intrare pentru a simula diferite scenarii [160];
- Oferă capacitatea de a studia areale largi, acoperite de date geografice în format raster foarte voluminoase [62];
- Oferă posibilitatea de a afișa rezultatele modelării [173].

Există diferite nivele de cuplare a modelelor privind eroziunea cu SIG, de la cele slab cuplate până la unele puternic cuplate, astfel [145] deosebesc trei nivele de integrare:

- Cuplare slabă: SIG și modelul sunt separate; fișierele cu date trebuie să fie importate/exportate între SIG și model.
- Cuplare strânsă: SIG oferă interfața pentru transferul de date spațiale între SIG și programul de modelare.
- Pe deplin integrate: modelul este integrat complet în SIG ca o componentă a acestuia. Exemple de integrare completă ar fi: modelul LISEM și PCRaster, modelul WATEM (și SEDEM) și IDRISI.

3) După procesul limitator

Două concepte sunt frecvent utilizate pentru a explica magnitudinea fluxului de sedimente: capacitatea de transport și capacitatea de detașare. În dependență de acestea, principalele modele privind eroziunea solului prin apă pot fi grupate după cum reiese din Tabelul 1.3.

Tab. 1.3. Tipologia principalelor modele de eroziune [63]

Limitate de capacitatea de detașare	Limitate de capacitatea de transport	Modele mixte
USLE, RUSLE, MUSLE	**USPED**	**SIMWE, WEPP, SWAT, AGNPS**
Modele empirice		Modele bazate pe procese fizice

Capacitatea de detașare - rata maximă a detașării care se presupune a avea loc atunci când apa nu conține sedimente. Metoda presupune că fluxul de apă poate transporta o cantitate infinită de sedimente și cantitatea de sol erodat este limitată doar de capacitatea de detașare a apei (erozivitatea apei). Din această cauză aceste modele nu pot fi folosite la prezicerea depunerii de sedimente. Ieșirile acestor modele (USLE, RUSLE, RUSLE3D, MUSLE) sunt adesea utilizate ca și intrări pentru modelele care simulează transportul sedimentelor în cadrul bazinelor hidrografice (CASC2d, ANSWERS).

Modelul RUSLE. Modelul USLE a fost proiectat și gândit ca un instrument de evaluare efectelor diferitelor practici de management al terenurilor agricole. Această ecuație empirică ia în considerația efectele ploii, erodibilitatea solului, lungimea și mărimea pantei, acoperirea cu vegetație și măsurile de protecție; de asemenea, estimează pierderile de sol determinate de formele de eroziune laminară și prin șiroire, neluând în considerare celelalte forme de eroziune. Deși această ecuație a fost dezvoltată în funcție de condițiile specifice existente în Statele Unite ale Americii, este larg răspândită în toată lumea. Cele mai multe țări europene au aplicat de asemenea acest model [68]. Aplicarea modelului USLE în Europa de către [177] a constituit o

încercare de a cuantifica eroziunea plană și de șiroire, bazată pe un set de date grilă de 1x1 km, care acoperă întreaga Europă.

Modelul RUSLE, fiind o evoluție a modelului USLE, se dezvoltă începând din 1984-1985 la USDA-ARS (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service) din Tucson, Arisona. Ultima versiune disponibilă - RUSLE2 estimează pierderile de sol, volumul sedimentelor și caracteristicile eroziunii de adâncime și laterale cauzate de precipitațiile atmosferice și scurgerea asociată cu acestea. RUSLE2 utilizează factori care reprezintă efectul erozivității climatice, erodibilității solului, morfologiei terenului, acoperirii terenului și a utilizării terenului pentru a obține valorile eroziunii. Ca și alte modele matematice, folosește un sistem de ecuații în acest scop. Formula care stă la baza modelului USLE/RUSLE este [8, 11]:

$$A = R \times K \times (L \times S) \times C \times P \tag{1.9}$$

Unde: A - pierderile anuale de sol, R - factorul erozivității precipitațiilor, K - factorul erodibilității solului, C - factorul acoperirii terenului, P - factorul practicilor de gestionare, LS - factorul dublu al înclinării și lungimii pantei.

Capacitatea de transport - cantitatea maximă de sedimente pe care un curs de apă poate să o transporte fără ca depunerea de sedimente să intervină [134].

Metoda presupune că fluxul de apă poate transporta o cantitate limitată de sedimente, depinzând de capacitatea de transport al însuși cursului de apă. De asemenea, metoda presupune că cantitatea de sedimente transportate prin apă este întotdeauna egală cu capacitatea maximă de transport. Deci, în locurile în care capacitatea de transport crește, se produce eroziunea, iar în locurile în care aceasta descrește are loc depunerea de sedimente. (ex. USPED - The Unit Stream Power Erosion/Deposition).

Modelul USPED. Este un model simplu, care prezice distribuția spațială a ratelor eroziunii și depunerii de sedimente, pentru cazul scurgerii de suprafață în echilibru și în condițiile unui exces de precipitații uniform, pentru modelarea eroziunii limitate de capacitatea de transport. Modelul este bazat pe teoria inițiată de [129] cu numeroase îmbunătățiri ulterioare, fiind o modificare 2D a modelului RUSLE. Acesta pornește de la presupunerea că eroziunea și depunerea depind de capacitatea de transport a sedimentelor prin scurgerea de suprafață. Convergența scurgerii este incorporată în modelul USPED, calculându-se factorul LS în baza suprafeței bazinului de recepție [121]:

$$LS = A^m \times (\sin\beta)^n \tag{1.10}$$

Unde: β - panta în grade; m și n - constante empirice dependente de proprietățile scurgerii și ale solului. Pentru scurgerea de suprafață acestea sunt: m=1,2-1,6; n=1,0-1,3 [121].

Valorile mici ale lui *m* și *n* indică situații în care domină scurgerea laminară, iar cele mari indică prevalarea scurgerii prin șiroire [128]. Eroziunea și depunerea (ED) sunt apoi calculate ca flux de sedimente pe direcția de scurgere:

(1.11)

$$ED = \frac{d(T \times \cos\alpha)}{dy} + \frac{d(T \times \sin\alpha)}{dy}$$

Unde: α - direcția de scurgere sau expoziția în grade.

Astfel formula utilizată de modelul USPED arată astfel:

(1.12)

$$A = R \times K \times \left(A^m \times (\sin\beta)^n\right) \times C \times P$$

Modelele limitate la detașarea sedimentelor sunt mai eficiente atunci când se cere a evalua **efectele ploilor torențiale**, care de obicei posedă o înaltă capacitate de transport, iar modelele limitate la capacitatea de transport sunt utile pentru simularea fenomenelor erozive pentru **perioade lungi de timp** și a fenomenelor de acumulare, complet neglijate de primele. Primele sunt mult mai precise pe terenuri cu roci fine, pe când cele din a doua categorie – pe terenuri cu substrat grosier.

Modelele generale – simulează procesele de eroziune dintr-o poziție de mijloc între cele două abordări anterioare (ex. SIMWE, WEPP, SWAT, AGNPS, CASC2D, LISEM), fiind spațial variabile în dependență de interacțiunea dintre: relief, sol, modul de acoperire a terenurilor, viteza scurgerii apei și cantitatea de sedimente transportate.

Modelul WEPP. Lucrul în cadrul proiectului a început în 1985, fiind condus de către G. R. Foster de la USDA-ARS (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service), care apoi, din 1987, este înlocuit L. J. Lane, proiectul fiind transferat la Tucson, Arizona la USDA - Southwest Watershed Research Center.

Activitățile recente au dezvoltat proceduri și interfețe pentru trasarea automată a limitelor bazinelor hidrografice, rețelei hidrografice, regiunilor versanților și a pofilelor reprezentative de versant de pe Modele Digitale de Elevație. Astfel, tehnicile automate pot fi utilizate pentru obținerea intrărilor topografice pentru simulări de acuratețe suficientă, ceea ce reduce substanțial din efortul și timpul necesar pentru simulare [54].

Modelul SWAT. Un alt model, de asemenea foarte popular, este SWAT [176] care este un model bazat pe fizica proceselor, dar care funcționează la scară geografică mică și scară de

timp anuală. Valorile obținute sunt, prin urmare, doar valori medii ale eroziunii și depunerii, iar acest lucru limitează capacitatea de a identifica zonele critice, precum și propagarea fenomenului în teritoriu. Simulează multe procese, inclusiv transportul sedimentelor, la o rezoluție de 100-300 m.

4) După tipul algoritmului utilizat

În general, sunt utilizate două tipuri de modele pentru estimarea intensității eroziunii: *empirice* și *fizice*.

Modelele empirice se bazate pe relațiile statistice între datele de intrare și ieșire ale modelului. Sunt ușor de utilizat, dar au inconvenientul că generalizarea și extinderea la scară mai largă nu este posibilă fără recalcularea fiecărei aplicații și nu au capacitatea de a simula evenimente extreme. Modelele empirice nu dezvăluie caracteristicile specifice ale proceselor erozionale, dar sunt capabile să estimeze eroziunea destul de eficient. Utilizarea lor are avantajul simplicității conceptuale și matematice. Se bazează pe datele colectate în experimente de teren, fiind reprezentări simplificate ale proceselor naturale [134].

Modelele empirice combină toate procesele privind eroziunea solului într-o singură ecuație, făcându-se uz de coeficienți empirici sau factori pentru caracteristicile precipitațiilor, proprietățile solului și condițiile de acoperire a terenului. Valorile parametrilor acestor modele pot fi obținute prin calibrare [118].

Cel mai cunoscut și larg răspândit model empiric de predicție a pierderilor de sol ca efect al apariției eroziunii prin apă este modelul USLE [187, 188].

Modelele fizice (mecaniciste, deterministe) utilizează relații matematice pentru a descrie procesele. Acest tip de modele asigură o înțelegere mai clară a relațiilor dintre diferiții factori care influențează eroziunea și iau în considerare scări multiple și o distribuție temporală și spațială a parametrilor.

Cu toate acestea, modelele fizice sunt limitate, deoarece necesită numeroase date de intrare și din acest motiv pot fi aplicate numai pe suprafețe restrânse și uneori sunt neprietenoase cu utilizatorul. În Europa au existat încercări pentru a dezvolta modele fizice pentru estimarea eroziunii și a scurgerilor de suprafață cum ar fi modelul EUROSEM (European Soil Erosion Model) sau LISEM (Limburg Soil Eosion Model); acesta din urmă fiind primul model care a utilizat SIG.

Modelele fizice reprezintă procesele naturale, descriind fiecare proces fizic individual, apoi combinându-i într-un model complex. Ecuațiile fizice descriu procese naturale, cum ar fi scurgerea sau transportul de sediment [118].

În cadrul acestora, suprafața modelată este divizată în celulele unei grile regulate, unde fluxurile de ieșire (output) dintr-un element spațial sunt transferate către următorul element spațial ca și intrare (input). Această abordare solicit o rezoluție spațială și temporal a datelor de intrare.

Modelul, WEPP, dezvoltat de USDA, este unul dintre cele mai cunoscute modele fizice [76]. Este un model fizic, distribuit spațial, orientat spre simularea unui singur eveniment. Procesele considerate în cadrul modelului sunt: eroziunea, transportul de sedimente și depunerea sedimentelor la suprafață și în canale.

Alte modele fizice sunt: KINEROS [190], EUROSEM [132], LISEM [62], CASC2D-SED [101], SHESED [182] etc.

Modelele conceptuale (semi-empirice) sunt, de obicei, bazate pe reprezentarea bazinului hidrografic ca o serie de rezervoare interne. Modelele conceptuale sunt o combinație a modelelor fizice și empirice. Valorile parametrilor de intrare pentru aceste modele sunt de obicei obținute mai degrabă prin calibrare, decât prin observații. Un exemplu de acest tip de model este LASCAM - Large Scale Catchment Model [161].

5) După caracterul spațializării

Un alt principiu de clasificare a modelelor este modul în care acestea reprezintă suprafața la care modelul este aplicat; astfel, modelele pot fi concentrate sau distribuite. În mod tradițional, modelele au considerat parametrii de intrare ca fiind concentrați în arealul analizat. Odată cu creșterea însă a capacităților de calcul, abordările distribuite au devenit tot mai ușor de realizat. Decizia în favoarea unui model **concentrat** sau a unuia **distribuit** depinde de rezultatul dorit.

Modelele distribuite reflectă variabilitatea spațială a proceselor și ieșirilor în cadrul bazinului. Abordarea distribuită pare să fie aplicabilă în special pentru modelarea transportului de sedimente. Modelele distribuite împart suprafața studiată în structuri spațiale detaliate, de obicei, celule rectangulare în cadrul cărora se realizează calculele [75]. Modelele distribuite ridică o serie de probleme, cum ar fi: necesarul de date adesea este foarte ridicat, iar rezoluția spațială are un impact important asupra rezultatelor [198]. Modele distribuite sunt: KINEROS2, WEPP, GUEST, LISEM, EUROSEM, CREAMS etc.

În cazul în care estimările pentru gurile de vărsare ale râurilor sunt suficiente, iar intervenția poate fi aplicată spațial uniform, atunci modelele concentrate sunt de preferat. Modelele concentrate utilizează suprafețe unificate. Modelele concentrare sunt în majoritatea lor empirice. Cel mai cunoscut model concentrat utilizat în prezent este modelul USLE; la fel sunt și derivatele lui, precum RUSLE și altele: PESERA.

6) După rezoluția temporală

Caracteristica concentrat/distribuit se referă la spațiu, după cum se vede mai sus, dar poate fi aplicată și pentru descrierea abordării temporale. Astfel, putem deosebi modele concentrate în timp și modele distribuite în timp.

Modelele bazate pe eveniment estimează eroziunea pentru intervale de ordinul minutelor sau orelor. Algoritmii care descriu aceste procese au fost dezvoltate mai ales pentru aplicarea la scara unor parcele mici sau pentru celule în cadrul bazinului [120, 82]. Modele bazate pe eveniment sunt: KINEROS, WEPP, EUROSEM, EROSION-2D etc.

Modelul USLE (și majoritatea derivatelor) a fost dezvoltat în scopul evaluării ratelor eroziunii pentru perioade mai îndelungate de timp: sezon, an [188].

O a treia abordare utilizată constă în aplicarea unor intervale egale de timp continui, cum ar fi o zi. Așa cum capacitățile tehnicii de calcul au crescut continuu, multe dintre modelele care au fost inițial create pentru a fi aplicate la evenimente unice (AGNPS, ANSWERS), au fost ulterior modificate și pot fi aplicate acum pentru simulări continui.

Ca exemplu, modele precum STREAMS [52] și SEDEM/WATEM [178, 179] sunt distribuite spațial și concentrate în timp.

7) După rezoluția spațială

Eroziunea solului a fost studiată la diferite scări spațiale: parcelă, versant, bazin, regiune. Schimbarea scării implică alegerea unei noi abordări, așa cum, odată cu modificarea scării, se modifică și procesele și factorii dominanți care influențează dinamica sedimentelor [45].

La nivel de parcelă, la cea mai mare scară (câțiva metri pătrați), modelul Rillgrow [74] simulează generarea rigolelor pe un model digital al terenului. Modelul se bazează pe conceptual auto-organizării. Un concept mai vechi este modelul lui Morgan, Morgan și Finney (MMF), care este un exemplu de model concentrat la scară de parcelă. Modelarea eroziunii solului cu ajutorul modelului Morgan-Morgan-Finney modificat este implementată de către M. A. Setiawan (2012) în versiunea 2.1.3 a aplicației SAGA GIS. Modulul este numit MMF-SAGA, dat fiind modificările implementate față de publicația originală: extinderea modelului pentru a suporta modelarea distribuită spațial, introduce stratului suplimentar „rețea hidrografică” și a parametrului „durata precipitațiilor” [131].

Modelele PSEM-2D [136], și Erosion 2D [155] sunt modele specifice pentru versant - ambele modele sunt bazate pe grilă, utilizând fizica proceselor. Alte modele aplicabile la nivel de versant sunt: WEPP, USLE etc.

Majoritatea modelelor aplicabile pe bazine mici sunt modele centrate pe evenimente unice pe bazine hidrografice mici (<10 km^2). Un bun exemplu de model de acest tip este EUROSEM [132], dezvoltat ca un efort european multinațional. Modelele STREAM [52] și WATEM/SEDEM [178, 179] au avantajul distribuției spațiale. WATEM/SEDEM simulează eroziunea anuală în baza ecuației RUSLE, utilizând însă un algoritm 2D pentru a înlocui lungimea versantului prin suprafața de recepție [66]. Alte modele aplicabile la nivel de bazin hidrografic sunt: AGNPS [195], EROSION3D [156], EUROSEM [132], WEPP [134], și LISEM [62].

În cadrul unor bazine mari (100-100.000 km^2), se cunosc modele precum: SHETRAN [73] - model bazat pe fizică, SWIM [109], care utilizează sub-bazine mici în calitate de unități hidrologice spațiale și este bazat pe modelul SWAT, sau SEMMED [60] - similar cu modelul MMF.

Modelele pan-continentale, aplică concepte de tip USLE, spre exemplu, este și cazul modelului PESERA [177].

Un alt element caracteristic pentru un modelele erozionale este „abordarea multi-scară". Un model multiscalar este SIMWE, care are, printre altele, avantajul de a fi bazat pe fizică [124].

1.3. Concluzii la capitolul 1

1) Lideri la capitolul modelării eroziunii solului sunt cercetătorii americani care, începând cu prima expresie matematică a eroziunii solului prin apă stabilită de R. W. Zingg (1940), dezvoltă o serie de ecuații empirice precum: *ecuația practicilor de versant* a lui G. W. Musgrave et al. (1947), Ecuația Universală a Pierderilor de Sol (USLE) de W. H. Wischmeier și D. D. Smith (1965, 1978) și Ecuația Universală a Pierderilor de Sol Revizuită (RUSLE) de K. G. Renard et al. (1996).

2) În evoluția cercetărilor privind dezvoltarea unor modele și modelarea eroziunii solului se pot evidenția mai multe etape, începând cu etapa primelor modele, empirice și fizice, concentrate spațial (0D) și terminând cu etapa actuală a modelelor de sinteză, distribuite spațial (3D sau chiar 4D) și bazate pe Sisteme Informaționale Geografice.

3) Problematica modelării eroziunii hidrice este destul de veche, începând a se pune în evidență încă în anii '30 ai sec. al XX-lea, astfel că până în prezent s-a reușit o diversificare a modelelor privind eroziunea, toate acestea având la bază: **diverși algoritmi** (empirice, fizice), **abordări** (calitative, cantitative), **caracteristici** (pierderi de sol, acumulare de aluviuni) și **factori** (precipitații, relief, sol, vegetație, utilizare terenuri) ai procesului erozional, **scări**

spațiale (parcelă, versant, bazin) și **temporale** (eveniment unic, medie) și forme ale eroziunii (laminară, șiroire, ravenare, la mal).

2. CONDIȚIILE DE DEZVOLTARE A EROZIUNII

Teritoriul studiat, Câmpia Prutului de Mijloc, are următoarele limite: la est – interfluviul Prut - Nistru, la vest – râul Prut, la sud - interfluviul Delia - Valea Mare, iar la nord – interfluviul Ciuhur - Camenca, extinzându-se pe latitudine între 47°12´N și 48°2´N și pe longitudine între 27°12´E și 28°1´E (Figura 2.1).

În Figura 2.2 este reprezentată limita zonei de studiu suprapusă peste imaginea satelitară Landsat 2000, drapată peste modelul umbririi terenului. Limita de vest – Prutul nu reprezintă o limită geomorfologică propriu-zisă, deoarece relieful de aici prezintă aceleași caracteristici ca și la vest de Prut, în Câmpia Moldovei (sau a Jijiei), ambele unități reprezentând de fapt aceeași regiune geomorfologică [1]. Aria 2D a suprafeței regiunii de studiu este de 2314,13 km^2, fiind cu 12,84 km^2 mai mică decât aria 3D a teritoriului - 2326,97 km^2.



Fig. 2.1. Poziția geografică a zonei de studiu

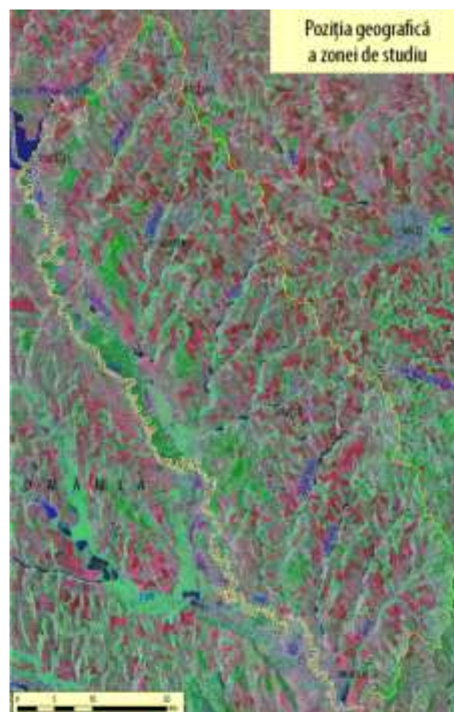


Fig. 2.2. Limitele zonei de studiu și rețeaua hidrografică (drapate peste imagine Landsat)

Volumul reliefului la altitudinea de peste valoarea minimă de 32 m este de 227,69 km^3. Pentru exemplificări la scară mare s-a selectat o zonă redusă ca întindere, având limitele: Punct 1 (134860,0; 286496,0); Punct 2 (142360,0; 286496,0); Punct 3 (142360,0; 278996,0); Punct 4 (134860,0; 278996,0) (Figurile 2.3 și 2.4). Sistemul de coordonate utilizat pentru realizarea materialului cartografic și pentru calcularea coordonatelor a fost MOLDREF99 / Moldova TM (EPSG: 4026).



Fig. 2.3. Hartă topografică, drapată peste MNAT



Fig. 2.4. Ortofoto-imagine 2007, drapată peste MNAT

2.1 Cadrul geomorfologic

Pentru caracterizarea reliefului s-au realizat o serie de hărți tematice precum: hipsometrică, a expoziției versanților, a înclinării terenului, modelul umbririi terenului, a densității fragmentării reliefului, a adâncimii fragmentării reliefului etc., folosind ca sursă de informație punctele de control utilizate pentru ortorectificarea aerofotogramelor anului 2007.

Hărțile realizate au fost analizate fie aparte, fie prin suprapuneri simple sau prin analiză spațială multicriterială, în care au fost integrate mai multe straturi în format vector și raster. Analiza unui singur strat a constat în evidențierea ponderii și distribuției spațiale ale claselor de valori ale parametrului reprezentat.

2.1.1. Caracteristici morfologice și morfometrice

***Altitudinea reliefului* -** descrește progresiv de la est și nord-est către vest și sud-vest, conform cu înclinarea generală a straturilor geologice de suprafață. Prezența orizonturilor de roci mai dure în sud-vest, rezistente la dezagregare și eroziune, au favorizat menținerea aici, la altitudini mai mari de 200-250 m, unor culmi interfluviale. Cele mai mari înălțimi corespund interfluviilor ce despart bazinele hidrografice principale ale afluenților Prutului: Ciuhur, Camenca, Căldărușa, Ustia, Gârla Mare, Șoltoaia și Delia și ai Nistrului: Copăceanca (baz. Răut), Ciulucul de Mijloc, Ciulucul Mic, Cula și Ichel (Figura 2.5).

Prin eroziunea regresivă a râurilor interfluviile au fost fragmentate, astfel că în prezent înălțimile mari sunt asociate unor dealuri cu profil mai mult sau mai puțin ascuțit, dispuse pe o

direcție perpendiculară pe direcția de scurgere a râurilor actuale. Așa sunt, spre exemplu, cele suprapuse cumpenei de apă dintre bazinul Prutului și Nistrului.



Fig. 2.5. Harta hipsometrică



Fig. 2.6. Harta pantelor

Altitudinea scade către sud și sud-vest până în lunca Prutului, în zona de vărsare a afluentului Valea Mare în Prut, unde se înregistrează altitudinea minimă din regiunea studiată (32 m), ca urmare a mișcărilor oscilatorii negative din sectorul sudic al Câmpiei Prutului de Mijloc. Cât privește altitudinea interfluviilor ce despart afluenții Prutului, se observă o descreștere a acesteia dinspre afluenții din amonte spre cei din aval. Astfel, interfluviul Ciuhur - Camenca urcă la peste 250 m, interfluviul Șoltoaia - Delia, la doar 170-190 m. Altitudini de peste 220 m se întâlnesc în treimea sud-vestică a regiunii, pe culmile deluroase reprezentând cumpenele de ape ce separă bazinele afluenților Prutului.

Cele mai mici altitudini corespund zonelor de luncă și sunt, cuprinse între 32 și 66 m în lunca Prutului. Aceasta este mai coborâtă cu cca. 130 m decât lunca Siretului, și cu 25 m mai ridicată față de lunca Nistrului.

Înălțimea relativă medie a reliefului - este de 98,4 m, iar altitudinea medie este de 130,4 m, mai mică decât în unitățile de relief învecinate. Altitudinea maximă este de 404,4 m, iar ecartul altitudinal este egal cu 372,4 m.

Clasa modală este cea de 120-140 m, cu o frecvență ridicată înscriindu-se și clasa 50-60 m (reprezentând luncile, mai ales a Prutului), majoritatea valorilor fiind cuprinse între 50 m și 200 m. Ponderile suprafețelor altitudinale parțiale și distribuția cumulativă a altitudinilor sunt

prezentate în Figurile 2.7 și 2.8. Altitudinile mari, de peste 200 m, apar cu o frecvență de 8%, corespunzând unei suprafețe de cca. 185 km^2, din care cca. 23 km^2 corespund unor altitudini mai mari de 250 m.

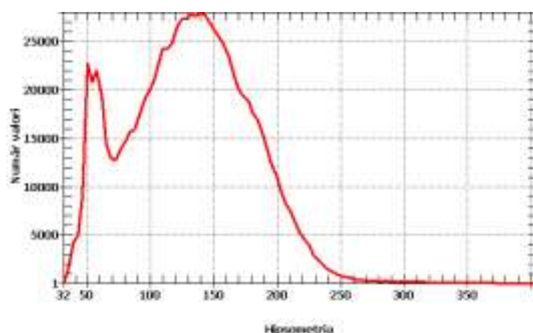


Fig. 2.7. Ponderea suprafețelor altitudinale parțiale

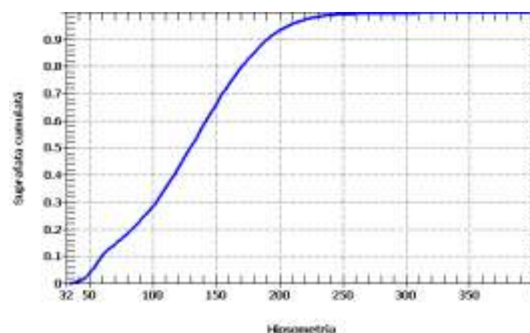


Fig. 2.8. Distribuția cumulată a altitudinilor

Panta - este un factor ce condiționează dinamica și frecvența proceselor de modelare actuală a reliefului, individualizând diferite unități de relief. Valori sub 2° caracterizează luncile, podurilor de terasă, conurilor de dejecție, tăpșanele coluvial-proluviale etc (Figura 2.6).

Înclinarea terenului a fost determinată automat pe baza modelului numeric al altitudinii, fiind aplicată ulterior o clasificare, în urma căreia au rezultat 6 clase de valori cu relevanță geomorfologică (Figurile 2.9 și 2.10). Panta maximă este egală cu 70,69°, panta medie a regiunii de studiu este de 4,48°, iar deviația standard - 3,83, de unde rezultă că majoritatea valorilor sunt cuprinse între 0,65° și 8,31°, valori care indică o fragmentare a terenului care determină prezența unor suprafețe întinse relativ orizontale mărginite de versanți cu înclinare mare.

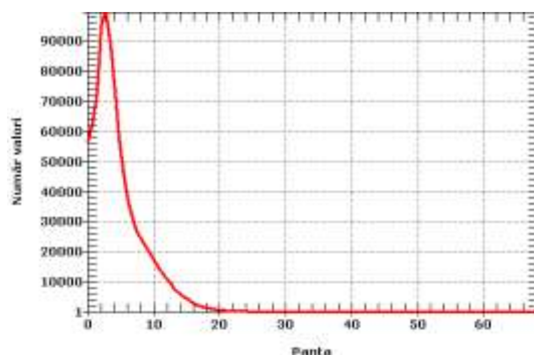


Fig. 2.9. Distribuția pantelor

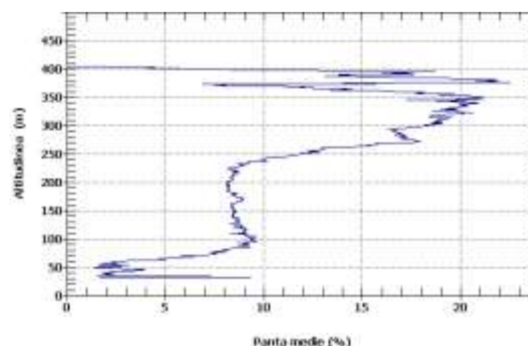


Fig. 2.10. Altitudinea vs Panta reliefului

Terenurile cvasi-orizontale și slab înclinate, cu pante mai mici de 5°, dețin ponderea cea mai mare (67,08%), valoare ce corespunde unei suprafețe de cca. 1.553,77 km^2, dată în principal de luncile principalelor râuri, mai ales a Prutului, și într-o măsură mai redusă, de interfluviile mai mari sau podurilor de terase.

Terenurile moderat înclinate (5-15°) reprezintă 31,03% din suprafața regiunii, adică cca. 718,87 km^2 (Figura 2.10). Ele corespund majorității versanților, dar mai ales celor conformi cu structura geologică de suprafață și, prin urmare, au orientare generală sudică sau sud-estică. De

asemenea, aceste pante se regăsesc și în treimea inferioară a versanților, precum și a majorității interfluviilor. Modelarea reliefului se desfășoară cu intensitate moderată pe aceste suprafețe, procesele fiind reprezentate mai ales prin eroziune în suprafață.

Terenurile puternic (15-25°) și foarte puternic (> 25°) înclinate dețin 1,9% din suprafața regiunii (43,85 km^2) și corespund mai ales versanților de tip cuestă. Destrucția formelor se desfășoară aici cu intensitate mai mare, prin intermediul unui complex de procese, care include eroziunea în suprafață, alunecările de teren și ravenarea.

Curbura - reprezintă o măsură a concavității/convexității terenului. Se poate vorbi de două tipuri de curbură: cea în plan (măsurată pe direcția curbelor de nivel) și cea în profil (măsurată în lungul aliniamentelor de scurgere, perpendicular pe curbele de nivel). Rezultatele sunt codate pozitiv (profile convexe) și negativ (profile concave) (Figurile 2.11 și 2.12).

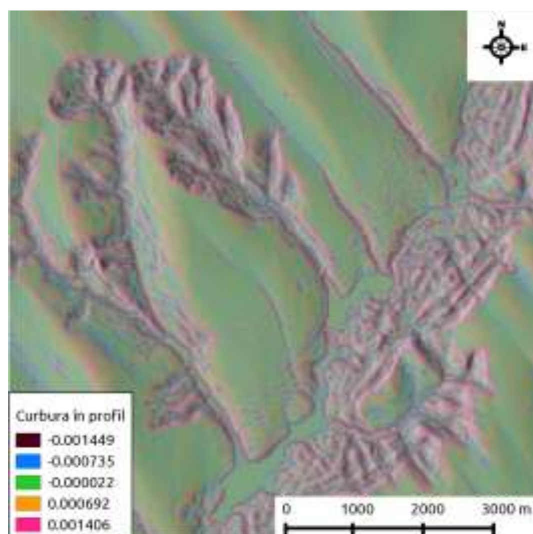


Fig. 2.11. Curbura în profil

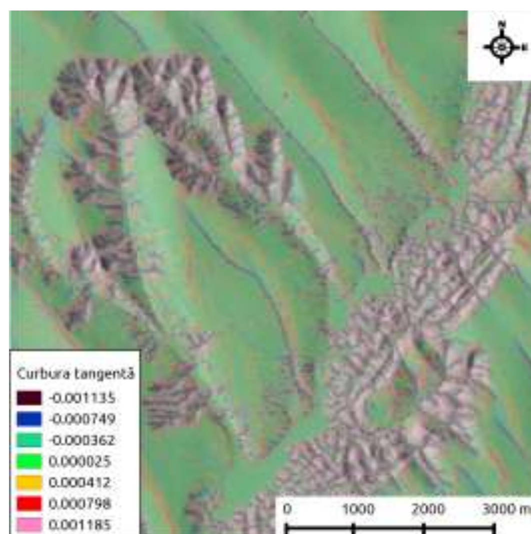


Fig. 2.12. Curbura tangentă

Adâncimea fragmentării reliefului - are valori repartizate neuniform în spațiul analizat (Figura 2.13). Cele mai înalte interfluvii se caracterizează prin valori ale energiei de peste 100 m, iar majoritatea versanților prin valori de 50-100 m.

Valoarea medie a adâncimii fragmentării reliefului din regiunea de studiu este de 61,5 m, valorile oscilând între 2 m și 203 m. Clasa modală a distribuției frecvențelor este cea de 50-100 m (62,44%), cu valori la jumătate înscriindu-se clasa de valori sub 50 m (30,96%) și mult mai puțin reprezentate fiind clasele >100 m (împreună 6,61%). Deviația standard este de 26,4 m ceea ce arată că marea majoritate a valorilor sunt situate în intervalul 35-88 m (Figura 2.15).

Valori reduse ale energiei de relief (sub 10 m) sunt caracteristice mai ales luncilor mari (ale Prutului, Camencii ș.a.), iar valorile mari, de peste 150 m, sunt specifice fronturilor cuestelor principale.



Fig. 2.13. Harta adâncimii fragmentării reliefului

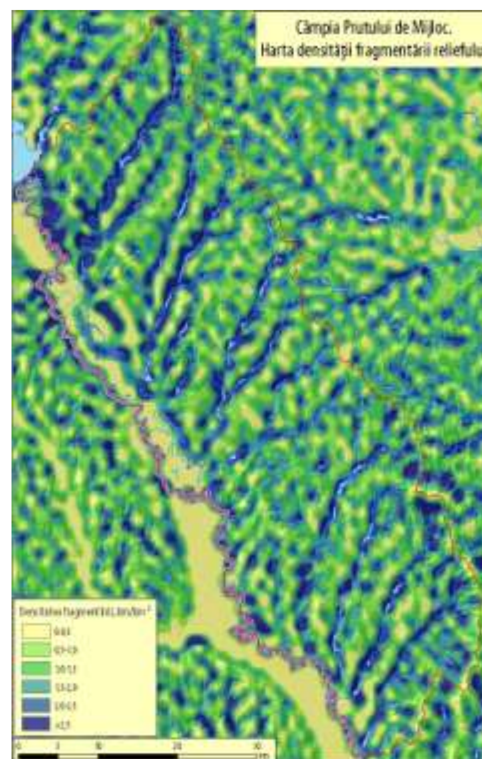


Fig. 2.14. Harta densității fragmentării reliefului

Densitatea fragmentării reliefului - reprezintă raportarea lungimilor totale a sistemelor hidrografice, incluzând și văile seci, la unitatea de suprafață (km/km^2). Este un parametru care oferă o bună imagine asupra gradului de fragmentare al reliefului, cuantificând astfel natura variației în suprafață. Diferențierile sunt influențate de litologie, de natura proceselor geomorfologice actuale etc. (Figura 2.14).

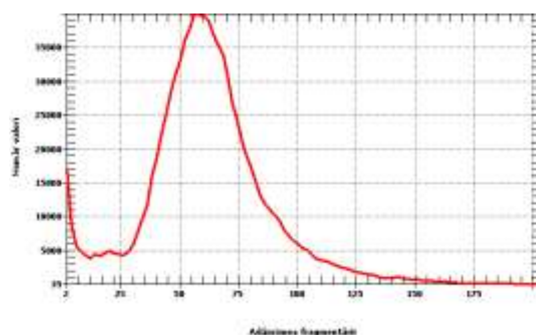


Fig. 2.15. Distribuția valorilor energiei reliefului

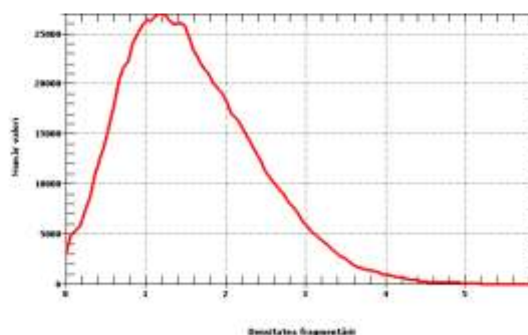


Fig. 2.16. Distribuția valorilor densității fragmentării reliefului

Valoarea medie a densității fragmentării este 1,53 km/km^2 iar intervalul maxim de variație este 0-5,92 km/km^2. Deviația standard este de 0,85 km/ km^2, ceea ce indică un interval cuprins între 0,68-2,38 km/km^2 în care sunt încadrate majoritatea valorilor (Figura 2.16).

Valorile din intervalul 1,0-1,5 km/km^2 se înscriu cu frecvența cea mai mare (24,08%, fiind urmate de cele cuprinse între 0,5-1,0 km/km^2 (19,79%) și între 1,5-2,0 km/km^2 (19,55%).

Valorile densității fragmentării mai mari caracterizează, mai ales, zonele de confluență ale văilor de la baza unor versanți cuestiformi (Figura 2.14).

Valorile reduse (sub 0,5 km/km^2) cumulează o frecvență de apariție foarte mică (9,39%), fiind caracteristice mai ales culmilor interfluviale și sectoarelor largi de luncă.

În concluzie, morfometria de ansamblu a teritoriului Câmpiei Prutului de Mijloc este efectul evoluției morfologice a depozitelor litologice structurate monoclinal.

2.1.2. Forme de relief delimitate în baza MNAT

Odată scoși în evidență parametrii suprafeței topografice, (pantă, expoziție, iluminare, curbură etc.) se poate trece la extragerea automată a unor forme de relief, proces complicat pe măsură ce aceste forme devin mai complexe.

Pentru a ilustra procesul de extragere a formelor de relief simple, vom apela la indicele TPI (Topographic Position Index). TPI permite clasificarea formelor de relief în categorii de relief în funcție de altitudine și înclinare (Figura 2.17).

Topographic Position Index (TPI) este implementat în programul SAGA GIS după metoda propusă de A. Guisan et al. (1999).

Acest indice se află într-o strânsă dependență de scara aleasă, astfel încât s-au ales doi algoritmi de calcul al său, extinzând diametrul vecinătății celulei (Small Neighborhood – SN, Large Neighborhood - LN), rezultatul fiind o creștere a acurateței încadrării respectivelor areale.

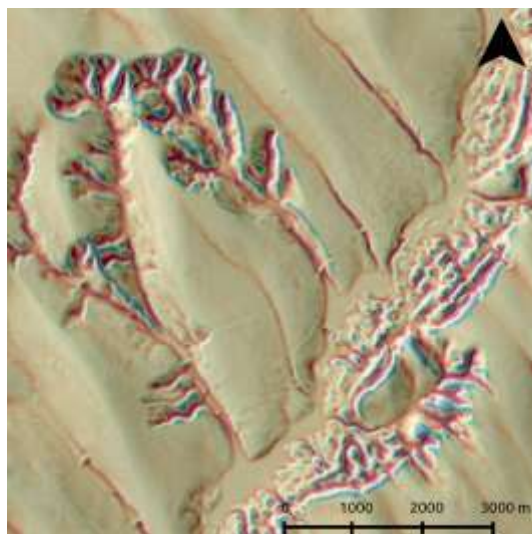


Fig. 2.17. TPI [55]

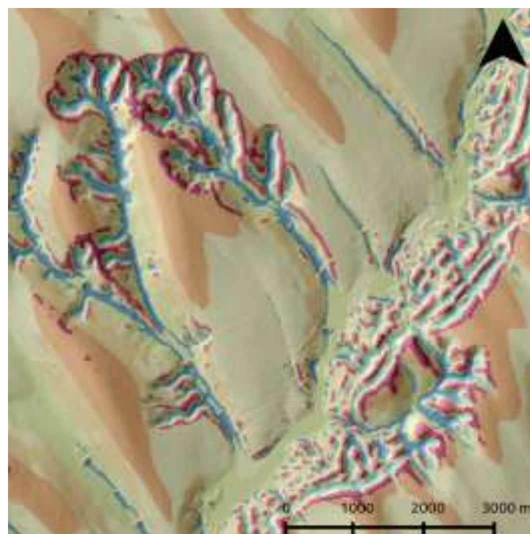


Fig. 2.18. Clasificarea reliefului în baza TPI [55]

Acest indice reprezintă practic și simplificat diferența dintre valoarea altitudinală a celulei și media altitudinilor celulelor imediat înconjurătoare, astfel că valori pozitive înseamnă că celula este mai înaltă decât împrejurimile și viceversa (Figura 2.18).

2.1.3. Relieful actual și etapele de formare ale reliefului

Câmpia Prutului de Mijloc este parte componentă a Podișului Moldovei, care se desfăşoară între Carpaţi şi Nistru, fiind, în fapt, aceeași unitate cu Câmpia Moldovei (Jijiei) din partea dreaptă a Prutului. Pornind de la interpretarea datelor geologice, [16] relevă următoarele concluzii privind evoluția reliefului Podișului Moldovei:

- Relieful a aluat naștere în proterozoic a fost adus la stadiul de pediplenă la finele acestei ere; ulterior aceasta a fost fragmentată și acoperită de o cuvertură sedimentară;
- În timpul regresiunilor (paleozoic mediu-superior, oligocen-miocen inferior), câmpiile marine au suferit o modelare parțială, suprafețele rezultate fiind fosilizate de sedimente;
- Relieful actual s-a realizat treptat în pliocen (începând de la finele sarmațianului) și cuaternar; rețeaua hidrografică s-a organizat în concordanță cu panta generală fragmentând câmpiile litorale aflate în extindere treptată. Adâncirea rețelei hidrografice a fost însoțită de detașarea mai multor trepte.

În Câmpia Moldovei există o singură suprafață de nivelare (pliocen-cuaternară) ce înclină din nord (250 m) spre sud (125 m). Modelarea din intervalul sarmațian superior-ponțian s-a realizat asupra unei regiuni de câmpie joasă aflată în imediata apropiere a unui nivel de bază general. Ca urmare, râurile sau adâncit puțin, iar condițiile climatice au favorizat retragerea versanților și realizarea unei nivelări aproape generalizată, suprafața realizată tăind sarmațianul.

Retragerea nivelului de bază mult în sud, paralel cu ridicarea generală a regiunii, a dus la intrarea într-o nouă etapă de modelare la finele pliocenului [16]. Râurile au eliminat suprafața veche ca urmare a rocilor ușor de dislocat. Suprafața veche a fost înlocuită cu alta nouă căreia în regiunile vecine îi corespund nivele de eroziune din culoarele văilor.

Luncile ocupă o mare parte din culoarele de vale având lățimi de la câteva sute de metri până la peste 10 km (valea Prutului) și o pantă longitudinală de $3,2^{o}$; au depozite de până la 10 m în văile principale și 2-3 m pe cele mici. În luncă se disting grinduri longitudinale, numeroase cursuri părăsite, meandre vechi, sectoare cu exces de umiditate și vegetație higrofilă, glacisuri, cursuri paralele ale afluenților (Camenca), albii secundare (prutețe - în cazul Prutului) etc. În luncile râurilor s-au amenajat numeroase iazuri, parțial sau total colmatate de procesele de eroziune.

Structura monoclinală are un rol esențial în dezvoltarea unor trăsături specifice ale regiunii. Relieful structural s-a dezvoltat pe ansamblul monoclinal cu cădere spre sud-est, însă în condițiile existenței unor orizonturi de roci ce opun rezistență la atacul agenților exogeni (mai ales calcare).

Terasele Prutului reprezintă un element important al reliefului câmpiei, fiind clar pronunțate, mai ales pe sectorul Costești – Pruteni. Se evidențiază 9 terase pliocen-cuaternare [26], dintre care în relief apare mai evident terasa I - Sculeni, care urcă deasupra luncii cu 3-5 m, iar pe alocuri chiar cu 10-15 m. Fruntea terasei este afectată de eroziune liniară și alunecări de teren.



Fig. 2.19. Tipuri de relief: 1) culoare de vale, 2) versanți domoli, 3) versanți abrupți, 4) interfluvii principale rotunjite, versanți superiori domoli, terase și platouri, 5) interfluvii sub formă de creastă



Fig. 2.20. Distribuția pantelor cu valoarea de peste 5 grade – cele mai puternic supuse eroziunii

Printre geomorfologi și hidrologi, cartarea automată a reliefului este de interes pentru modelarea eroziunii [67], oferind, de asemenea informații asupra bazinelor hidrografice. Clasificarea morfologică a formelor de relief prezintă interes și pentru climatologi, în ceea ce privește dezvoltarea unor modele climatice.

În trecut, pentru clasificarea formelor de relief, au fost utilizate metode manuale, cum ar fi cele dezvoltate de [96]. Metoda lui E. H. Hammond se bazează pe proceduri cantitative care utilizează panta, altitudinea relativă și tipul de profil al reliefului pentru a defini diferite forme de relief. Această metodă a fost pe larg utilizată de-a lungul timpului și a servit drept bază pentru alte metode mai recente, devenind un standard de facto [6].

Tab. 2.1. Ponderea diferitelor categorii de relief

Cat.	Tipuri relief	Suprafața, km^2	%	Panta medie, °	Altitudinea medie, m
1	Culoare de vale	978,9	42,3	3,2	101,2
2	Versanți domoli	799,4	34,5	5,5	136,7
3	Versanți abrupți	219,4	9,5	7,6	154,2
4	Interfluvii principale rotunjite, versanți superiori domoli, terase, platouri	284,1	12,3	6,3	171,2
5	Interfluvii secundare sub formă de creastă	33,6	1,4	12,4	172,2

Harta tipurilor de relief (Figura 2.19) a fost realizată utilizând o metodă de clasificare nesupervizată implementată în softul SAGA GIS - modulul Cluster Analysis for Grids (47), utilizând ca intrări: panta, curbura în plan, curbura în profil și adâncimea fragmentării reliefului. Pentru cluster-izarea datelor s-a folosit Metoda Iterative Minimum Distance (71).

2.1.4. Procese geomorfologice actuale

Procesele geomorfologice reprezintă totalitatea fenomenelor generate de agenții interni sau externi și care conduc la modelarea reliefului terestru. Degradările de teren din Câmpia Prutului de Mijloc se datorează în principal acțiunii eroziunii areolare și liniare și alunecărilor de teren (ambele cu o răspândire destul de largă) și, secundar, unor și procese cu o răspândire mai redusă, punctuală, precum: deflația, tasarea, surparea, solifluxiunea etc.

Eroziunea areolară (în suprafață). Condițiile speciale geologice, de relief, climă, hidrografie, vegetație, dar mai ales intervenția antropică, au contribuit la desfășurarea pe suprafețe extrem de extinse a proceselor de eroziune. Solurile sunt cele mai afectate de acest proces, cantități foarte mari de material care provine din orizontul fertil fiind transportate spre baza versanților.

Din punctul de vedere al condițiilor care favorizează instalarea eroziunii în suprafață, potrivit lui [19], terenurile agricole situate pe pante mai mari de 5% sunt suprafețele cele mai expuse. Acestea au o pondere mare, constituind 32,9% din suprafața câmpiei sau 761,6 km^2 (Figura 2.20).

De cele mai multe ori, prin intermediul eroziunii solului, are loc o redistribuire a orizonturilor superioare, fertile, spre zonele mai joase, având consecințe grave asupra productivității agricole. Dacă majoritatea terenurilor situate pe culmi sau pe versanți sunt afectate de eroziune în suprafață, la baza versanților s-au format o serie de depozite coluviale (Figura 2.21). De cele mai multe ori trecerea de la suprafața versanților la cea a șesurilor aluviale nu se

face brusc, ci prin intermediul unei suprafețe de racord de tip glacis, care au o răspândire aproape generalizată.

Riscul indus de manifestarea proceselor de eroziune în suprafață este considerabil, fiind cuantificat prin pierderile de sol fertil, material organic și mineral, nutrienți. Aceste pierderi se asociază diminuării productivității și fertilității solului, cu reflex în plan financiar.



Fig. 2.21. Eroziune de suprafață (loc. Chirileni, r. Ungheni)



Fig. 2.22. Eroziune în adâncime (loc. Chirileni, r. Ungheni)

Eroziunea liniară (în adâncime). Eroziunea în adâncime și ravenarea reprezintă o altă categorie de procese specifice Câmpiei Prutului de Mijloc. Acest fenomen ajunge aici la dimensiuni, pe alocuri, îngrijorătoare, fiind datorat aceluiași complex cauzal ce întrunește condiții „optime": relief, climă, sol, acoperire/utilizare a terenurilor, ca și în cazul eroziunii areolare (Figura 2.22). Procesul de „eroziune liniară" apare în momentul în care scurgerea de suprafață (reprezentată prin șuvoaie sau șiroaie mari) se concentrează, pe versant, în contextul creșterii energiei cinetice a scurgerii lichide și al micșorării rezistenței substratului sau învelișului vegetal protector [17]. Eroziunea în adâncime este unul dintre cele mai importante procese geomorfologice prezente, atât prin suprafața ocupată dar mai ales prin efectele avute.

În cazul eroziunii în suprafață cea mai evoluată formă este constituită din rigole mici, ale căror dimensiuni ating până la 20 cm. Între rigola mică (formă a eroziunii areolare) și rigola mare (de unde începe eroziunea torențială), nu se poate face o distincție foarte clară și de aceea, unii autori consideră că eroziunea în rigole este o tranziție între eroziunea în suprafață și cea în adâncime.

Acolo unde eroziunea în adâncime devine tot mai activă, iar adâncimea depășește 0,5 m, dar nu ajunge la 2-3 m apar ogașele. De regulă, acestea au forma unor șanțuri cu secțiunile transversale sub forma literei „V", și pot apărea atât pe versanți cât și pe fundul văilor.

Ravenele reprezintă cele mai evoluate forme ale eroziunii în adâncime. Ravenele de versant sunt asociate unor bazine de recepție mici care se instalează în orizonturile A și B ale solurilor, mai rar, în orizontul C.

De regulă, sunt ravene discontinui, cu un profilul longitudinal liniar, deseori în trepte, acolo unde apar nisipuri cu intercalații argiloase. Multe asemenea ravene s-au format prin accentuarea unor incizii făcute pe aliniamentul unor vechi drumuri care au tăiat versanții cu o pantă ridicată.



Fig. 2.23. Distribuția numărului de ravene pe unitate de suprafață

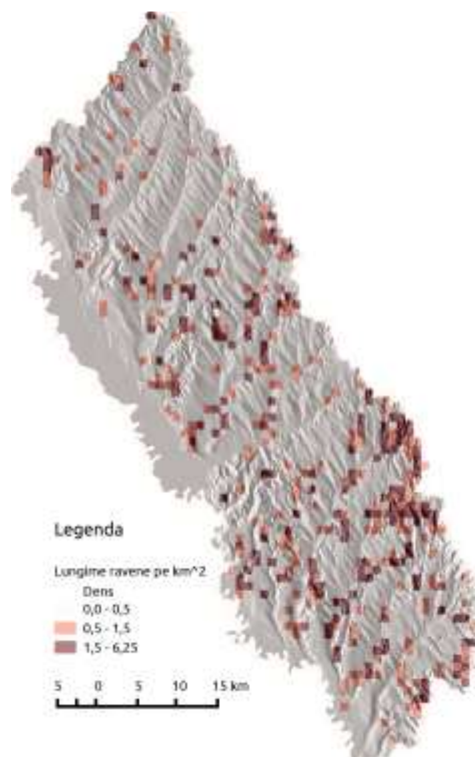


Fig. 2.24. Distribuția lungimii ravenelor pe unitate de suprafață (km/km^2)

Principalii factori de inițiere a ravenării sunt cel hidrologic (modul de organizare a scurgerii lichide sub formă de curenți concentrați), litologic, dublate de pantă și de utilizarea defectuoasă a terenurilor.

Indiscutabil, cele mai spectaculoase forme ale eroziunii în adâncime sunt oferite de ravenele de fund de vale. De obicei, sunt ravene continue, cu adâncimea mult mai mare (până la 10 m și chiar mai mult).

Acestea se găsesc pe fundul majorității văilor din arealul studiat. Se instalează frecvent acolo unde în profilul longitudinal al talvegului apare un prag („rapid”) care favorizează concentrarea curenților de apă. De aceea, în profil longitudinal, în situația în care panta este mai ridicată se instalează procese de ravenare, iar unde capacitatea de transport a apei scade apare o zonă de sedimentare.

Formele liniare de eroziune, în cadrul câmpiei, în număr de 10.126 de organisme erozionale, au o lungime medie de 107,2 m și o lungime totală însumată de 1085,69 km. Astfel, densitatea medie a organismelor erozionale este de 0,47 km/km^2, depășind însă, în unele

sectoare, chiar și 6 km/km^2 (Figurile 2.23 și 2.24). Formele eroziunii în adâncime se dezvoltă în toate subunitățile de relief, dar cu frecvențe și intensități diferite. Cea mai mare prezență este caracteristică jumătății de sud-est a Câmpiei Prutului de Mijloc, îndeosebi în vecinătatea Podișului Codrilor.

Deplasările de teren. Pe lângă eroziunea areolară și eroziunea liniară, deplasările de teren completează evantaiul proceselor geomorfologice cu un rol esențial în morfogeneza reliefului Câmpiei Prutului de Mijloc. Ele se desfășoară în principal datorită acțiunii forței gravitaționale și cuprind: alunecările, surpările și solifluxiunile.

Alunecările de teren sunt procesele geomorfologice cele mai importante din această clasă, provocând pagube atât terenurilor agricole cât și așezărilor umane. În teritoriul studiat, formele de relief caracteristice alunecărilor de teren au o răspândire mai mare pe versanții de stânga a afluenților Prutului. Acest fapt se datorează alternanțelor litologice cu faciesuri predominant nisipoase intercalații de argilă.

Dintre factorii potențiali se remarcă alternanța de roci (permeabile și impermeabile) și caracteristicile reliefului preexistent (panta). Dintre factorii pregătitori amintim: precipitațiile abundente și defrișările, iar dintre cei declanșatori mai importanți sunt: acțiunea apei subterane, îngheț-dezghețul, cutremurele, dar și modificarea pantei prin construirea de drumuri, lucrări de terasare. Dezvoltarea alunecărilor este favorizată de faciesul predominant argilos al Basarabianului, sau nisipo-argilos al Kersonianului, intersectat la nivelul versanților. Majoritatea alunecărilor de teren sunt stabilizate sau semistabilizate. În condițiile climatului actual, alunecările active sunt de dimensiuni mai mici, antrenând deluvii relativ subțiri. Cele mai mari alunecări de teren, ca extindere orizontală și profunzime, apar pe fronturile cuestelor bine individualizate, cu energie și pante mari.

Principalele areale afectate de alunecări se grupează pe versanții ce ocupă frunțile de cuestă cu expoziție nordică-vestică dar și pe frunțile de cuestă cu expoziție vestică aflate pe stânga râurilor. Spre obârșiile râurilor, pe versanții cu intercalații argiloase, alunecările apar pe ambii versanți. De regulă, alunecările ocupă cele mai extinse suprafețe în partea nordică și nord-vestică a regiunii, acolo unde litologia este ceva mai lutoasă, cu intercalații argiloase. Spre sud, depozitele superioare meoțiene, cele ponțiene și daciene cu o predominare a faciesului nisipos și nisipo-lutos nu au favorizat instalarea la scară extinsă a unor procese de deplasare în masă.

Din categoria mai largă a deplasărilor în masă, nu lipsesc surpările, produse în malurile râurilor, prin eroziunea laterală a acestora, provocate de subminarea abrupturilor structural-

litologice, de ravenare sau favorizate de eroziunea regresivă a râurilor etc. Mai rar au loc rostogoliri de blocuri rupte din marginea orizonturilor de roci mai dure, creep-ul și solifluxiunea.

Alunecările de mari proporții care ocupă suprafețe însemnate fiind întâlnite pe versanții văilor superioare, acolo unde energia de relief este foarte ridicată. În asemenea cazuri diferența de nivel dintre albia majoră și culme depășește 300 m, chiar 400 m. Pe lângă energia de relief, substratul litologic are un rol capital. Pe anumiți versanți dezvoltați pe materiale predominant nisipoase, fără intercalații argiloase, alunecările ocupă suprafețe foarte reduse.

O caracteristică a proceselor de alunecare o constituie formarea unor așa numite „circuri de alunecare”, care apar pe versanții abrupți ai afluenților râurilor mari dar și pe versanții cursurile superioare ale râurilor principale. De o parte și de alta a canalelor de scurgere de pe văile respective, datorită inciziei create de acestea, alunecările se reactivează progresiv.

Procese de albie. Relieful Câmpiei Prutului de Mijloc este datorat, în primul rând, efectului acțiunii râurilor care se realizează prin eroziune, transport și acumulare. Eroziunea exercitată de rețeaua de scurgere permanentă are mai multe componente: eroziune laterală, eroziune în adâncime (de fund), și eroziunea regresivă.

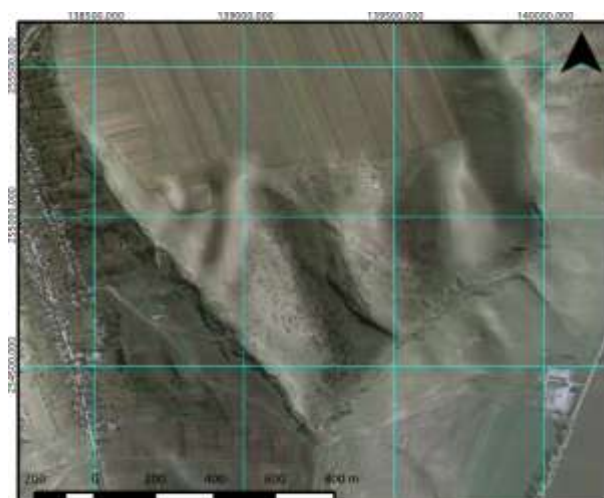


Fig. 2.25. Ravenă de vale

Profilul longitudinal al șesurilor se caracterizează printr-o pantă cu valori mici, îndeosebi pe sectoarele mijlocii și inferioare ale râurilor. În general, pe cursurile mijlocii și inferioare ale râurilor, văile au un profil transversal larg, fiind acoperite de o serie de depozite sedimentare recente care provin din „spălarea versanților”, atât prin eroziune areolară cât și torențială.

Spre amonte, dar și pe micile văi ce coboară de pe versanți, odată cu creșterea pantei longitudinale, pe firul văilor se pot observa o serie de incizii (jgheaburi, ravene de fund de vale) care, prin eroziune regresivă, consumă din șesul aluvial, înaintând către obârșie. Destul de des, de la un sector la altul, în luncile râurilor se observă o succesiune de sectoare în care s-a instalat

procesul de ravenare, în alternanță cu cele de acumulare. În momentul în care apa se concentrează, viteza crește și apare un sector în care eroziunea este predominantă. După ce apa iese din canal, are loc o scădere a vitezei de scurgere care duce la o de punere a sedimentelor, cu apariția unor forme de acumulare (șes aluvial), după care procesul se poate relua.

Cel mai important râu al regiunii, Prutul, are profilul longitudinal cu panta variabilă, iar în plan albia râului formează numeroase meandre. Cele mai dezvoltate meandre se află în dreptul localităților: Cobani, Pruteni și Sculeni. Coeficientul de sinuozitate pentru sectorul Costești-Ungheni al Prutului este de 2,10; față de 2,11 pentru întreg râul în limitele Republicii Moldova.

2.2. Caracteristici termice și pluviometrice

În condițiile țării noastre agentul natural cel mai important de producere a eroziunii solului este apa provenită din ploile torențiale în special în așa-numita „perioadă critică de eroziune”. În condițiile țării noastre această perioadă este între 15 mai - 15 august, atunci când ploile torențiale au frecvență maximă iar solul este protejat insuficient de covorul vegetal slab dezvoltat.

Pentru caracterizarea condițiilor pluvio-termice medii lunare și anuale, precum s-au utilizat ca date de intrare temperaturi și precipitații medii lunare și anuale, extrase după limitele zonei de studiu, dintr-o bază de date climatică la nivel mondial [97], disponibilă pe website-ul http://www.worldclim.org/.

Această bază de date, cuprinzând, pe lângă temperaturi și precipitații, și o serie de indici bioclimatici, a fost realizată la o rezoluție spațială de 30 secunde de arc (în medie 1 km la nivel global), folosind mediile lunare și anuale ale parametrilor climatici pe perioada 1956-2000 de la un număr foarte mare de stații meteorologice. Având în vedere gradul redus de fragmentare al reliefului, considerăm că aceasta este suficientă pentru a caracteriza climatul regiunii la nivel mediu lunar și anual.

2.2.1. Temperaturile

Distribuția spațială a elementelor climatice este controlată, în primul rând de altitudine. Astfel, temperaturile cele mai scăzute sunt caracteristice altitudinilor mari, de peste 300 m, prezente pe rama sud-estică a câmpiei, iar temperaturile cele mai ridicate sunt prezente în extremitatea sud-vestică a regiunii, în lunca Prutului. Se resimte desigur și o influență latitudinală în cadrul distribuției spațiale a temperaturilor.

Temperaturile medii anuale variază între 8,2 și 10,1°C, media pe bazin fiind de 9,28°C. Temperatura medie din luna cea mai caldă a anului (iulie) variază între 19,2 și 21,2°C, cu o medie la nivelul întregii câmpii de 20,3°C, în timp ce media din ianuarie coboară la – 3,8°C, putând varia între – 4,7 și – 3,2°C. Maximele și minimele din iulie, respectiv ianuarie, se explică în primul rând prin valorile maxime, respectiv minime ale bilanțului radiativ în aceste luni (Figura 2.26).



Fig. 2.26. Distribuția spațială a temperaturii medii anuale

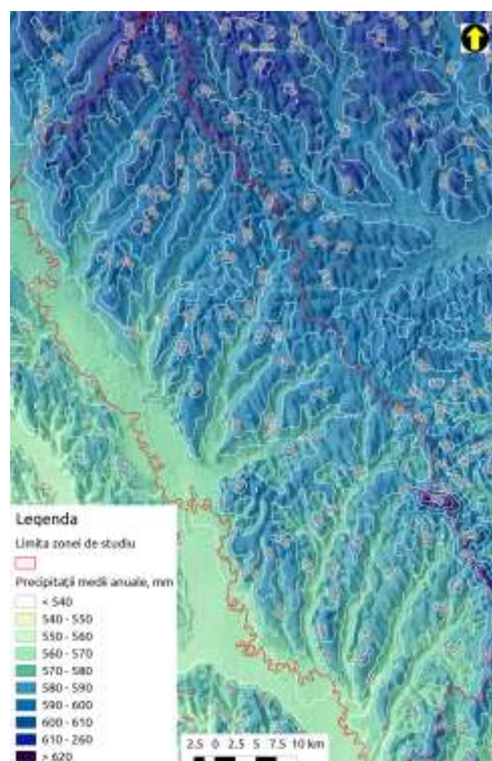


Fig. 2.27. Distribuția spațială a precipitațiilor medii anuale

Diferențierile spațiale ale temperaturilor medii, judecate prin prisma deviației standard, sunt mai accentuate primăvara și toamna, când temperaturile medii lunare diferă de valorile medii pe ansamblul regiunii cu cca ± 0,35-0,39°C și mai estompate în sezonul rece, când aceste diferențe se reduc la cca ± 0,26-0,33°C, ca urmare a interferenței inversiunilor termice din timpul iernii (Tabel 2.2).

2.2.2. Precipitațiile

Media multianuală a precipitațiilor la nivelul bazinului este de 581 mm, valorile oscilând între 553 și 621 mm. Maximul pluviometric este localizat în luna iunie, valoarea medie a acestuia fiind de 94 mm, cu un interval de variație cuprins între 89-101 mm (Figura 2.27).

Cantitatea sporită de precipitații de la sfârșitul primăverii și începutul verii se explică prin pătrunderea frecventă a ciclonilor mobili desprinși din frontul polar, însoțiți de advecții de mase

de aer umede dinspre Atlantic. Precipitațiile de vară, mai ales cele din august, sunt cauzate de ciclogeneza locală și au un pronunțat caracter torențial.

Tab. 2.2. Distribuția spațio-temporală a temperaturilor (°C) și precipitațiilor (mm)

Luna	**Temperaturi**			**Precipitații**		
	Minima	**Maxima**	**Media**	**Minima**	**Maxima**	**Media**
Ianuarie	-4,67	-3,20	-3,79	27	35	30
Februarie	-2,98	-1,20	-1,98	28	36	31
Martie	1,73	3,80	2,93	26	34	29
Aprilie	9,01	11,10	10,19	47	52	49
Mai	14,63	16,70	15,81	59	70	64
Iunie	17,81	19,80	18,93	89	101	94
Iulie	19,22	21,20	20,32	75	93	83
August	18,80	20,70	19,81	54	61	57
Septembrie	14,82	16,90	15,92	46	50	48
Octombrie	9,01	10,90	10,00	27	30	28
Noiembrie	3,03	4,80	4,00	32	37	34
Decembrie	-1,68	-0,10	-0,79	30	36	33
Anual	8,24	10,11	9,28	553	621	581

După maximul din iunie, precipitațiile încep să scadă până în a doua parte a toamnei, când se înregistrează un minim, plasat în luna octombrie, cu valori cuprinse între 27 și 30 mm. Scăderea este condiționată de reducerea advecțiilor de mase de aer umede dinspre Atlantic, în favoarea celor tropicale uscate (vara), de predominarea regimului baric anticiclonic (mai ales toamna), reducerea fluxului convectiv prin scăderea treptată a temperaturii aerului, scăderea progresivă a umezelii suprafeței active în urma evapotranspirației ridicate și deci și a alimentării cu umezeală a fluxului convectiv (Tabel 2.2).

În timpul iernii, precipitațiile cresc ușor în urma pătrunderii frecvente a aerului umed mediteranean, adus de cicloni, sau a pătrunderii aerului atlantic umed peste cel continental uscat, de origine est-europeană. Totuși, cantitățile de precipitații se mențin scăzute datorită temperaturilor coborâte, care frânează procesele de evaporare și reduc mult tensiunea de saturație a vaporilor, astfel încât aerul are o capacitate redusă de a înmagazina vapori de apă. De asemenea, mai ales în ianuarie și februarie, este caracteristică dominarea regimului baric anticiclonal, prin dezvoltarea anticiclonului siberian, care acaparează, prin intermediul unei dorsale, și teritoriul Moldovei. Masele de aer formate în cadrul acestui câmp baric sunt de natură continental polară, deci uscate și foarte reci, iar presiunea atmosferică ridicată împiedică manifestarea proceselor de condensare-precipitare.

Diferențierile spațiale ale precipitațiilor medii, judecate prin prisma deviației standard, sunt mai accentuate vara (mai-iulie), când precipitațiile medii lunare diferă de valorile medii pe

ansamblul regiunii cu cca ± 2,31-3,61 mm și mai estompate toamna, când aceste diferențe sunt, în medie, de ± 0,49-0,79 mm.

2.3. Caracteristici hidrografice și hidrologice

Rețeaua hidrografică reflectă în mare măsură condițiile de formare reprezentate de climat și alcătuirea litologică. Sursa principală de alimentare a unităților acvatice o constituie precipitațiile, iar principalul consumator îl formează evapotranspirația.

Apele de suprafață din bazinul hidrografic Prut sunt reprezentate prin râuri și lacuri la care se adaugă și mici bălți. Rețeaua hidrografică din zona de studiu cuprinde 614 segmente de râu cu o lungime totală de 1654,92 km corespunzând unei densități medii de 0,71 km/km^2. De asemenea, în cadrul câmpiei se află aproximativ 1.200 ochiuri de apă cu suprafața totală de 57,95 km^2 și cu suprafața medie de 4,83 ha (Figurile 2.28 și 2.29).

Fig. 2.28. Rețeaua hidrografică

Fig. 2.29. Bazine hidrografice

Prutul – principalul râu al regiunii și cel de al doilea râu important din Republica Moldova scaldă latura vestică a Câmpiei Prutului de Mijloc. Este un râu alohton, care își are obârșia în Carpații Păduroși în Ucraina, unde își formează cea mai mare parte a debitului lichid, și se varsă în Dunăre, desfășurându-se pe o distanță de 953 km, dintre care 705 km în limitele Republicii Moldova și 177,8 km în limitele Câmpiei Prutului de Mijloc. Lungimea însumată a primelor 10 râuri din cadrul regiunii constituie 495,8 km.

Pe stânga Prutul primește afluentul Camenca, care curge în lung cu acesta pe o distanță de 30 km (între Balatina și Pruteni). Alți afluenți importanți ai Prutului și Camencii, care drenează suprafața câmpiei Prutului de Mijloc, sunt: Camencuța, Căldărușa cu Glodeanca, Ustia cu Obreja, Șovețul Mare, Gârla Mare, Șoltoaia cu Vladnic și Delia.

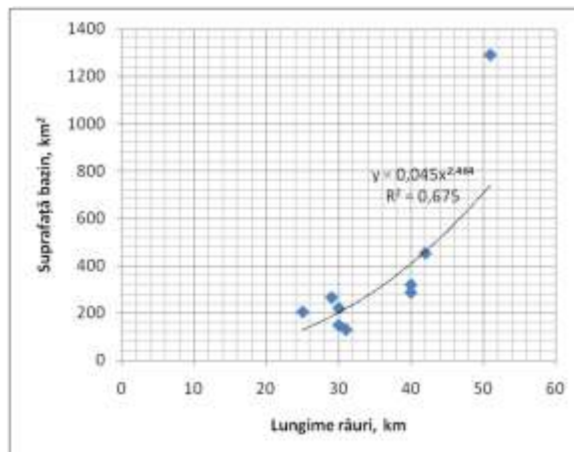


Fig. 2.30. Relația dintre lungime și suprafața bazinului pentru afluenții principali ai Prutului

Ca lungime, cursurile de apă se pot clasifica astfel: 557 cursuri de apă se înscriu în categoria de până la 5 km, cumulând o lungime de 871,66 km și având în medie 1,56 km lungime; 37 de râuri au lungimi cuprinse între 5 și 10 km (în medie 6,84 km), cumulând 253,41 km; 14 râuri au lungimi între 10 și 40 km (în medie 22,91 km), cumulând 320,79 km și doar 4 cursuri de apă trec peste 40 km lungime, cumulând însă 472,21 km (Figura 2.30 și Tabelul 2.3).

Tab. 2.3. Distribuția râurilor regiunii după lungime

Nr	Lungimea, km	Număr de râuri	Lungimea cumulată, km
1	0-5	557	871,66
2	5-10	37	253,41
3	10-20	7	108,49
4	20-40	7	212,30
5	40-80	2	90,22
6	>80	2	381,99
	Total	612	1918,07
	Media	-	3,13

Bazinul hidrografic Prut dispune de un număr mare de lacuri, îndeosebi lacuri antropice, dar nu numai, pentru că există și lacuri naturale. Lacurile regiunii, ca suprafață, se pot grupa astfel: 523 lacuri se înscriu în categoria de până la 1 ha, cumulând o suprafață totală a oglinzii apei de 189,03 ha și având în medie suprafața de 0,36 ha; 320 de lacuri au suprafețe cuprinse între 1 și 5 ha (în medie 2,4 ha), cumulând 768,31 ha; 85 lacuri au suprafețe între 5 și 10 ha (în medie 7,29 ha), cumulând 620,07 ha; 98 de lacuri au suprafața între 10 și 40 ha (în medie 19,64 ha), cumulând 1885,47 ha și doar 23 lacuri trec peste 40 ha, cumulând însă 1452,52 ha (Tabel 2.4).

Funcție de originea cuvetei lacustre, lacurile au fost tipizate astfel: lacuri dintre valurile de alunecare, lacuri de albie majoră și lacuri antropice.

Lacurile dintre valurile de alunecare - întâlnite în zonele afectate de alunecări. Prezintă forma alungită și adâncimi, în general mici, în funcție de înălțimea valurilor de alunecare. Sunt prezente, spre exemplu, în cadrul peisajului Suta de Movile (Figura 2.31).

Tab. 2.4. Distribuția lacurilor regiunii după suprafață

Nr	**Suprafața, ha**	**Număr lacuri**	**Suprafața cumulată, ha**
1	0-1	523	189,03
2	1-5	320	768,31
3	5-10	85	620,07
4	10-20	66	963,86
5	20-40	32	921,61
6	>40	23	1452,52
	Total	1049	4915,4
	Media	-	4,68

Lacurile de albie majoră și luncă - sunt formate în luncile râurilor, în spatele unor grinduri sau uneori între grinduri și baza versanților și în vechi brațe de meandru care au fost părăsite. Se alimentează din subteranul luncii sau din afluenți proprii. Adâncimea lor este redusă. Se întâlnesc în lunca Prutului. Mai frecvente în această zonă sunt lacurile de curs părăsit (prutețe), cu o răspândire largă (Figura 2.32).



Fig. 2.31. Lacuri naturale în cadrul peisajului Suta de Movile



Fig. 2.32. Cursuri părăsite în lunca Prutului

Lacurile antropice - au cea mai mare frecvență, ele reprezentând majoritatea. Sunt amenajate de om în diverse scopuri, cele mai multe fiind cu utilizare mixtă. Unele dintre aceste lacuri au folosință hidroenergetică (Costești-Stânca), de reglare a scurgerii râurilor, irigații, agrement, piscicultură etc. Forma lor este alungită, conformă cu dispunerea văii, adâncimile fiind foarte variate.

După [31] procesele erozionale sunt procese zonale, iar scurgerea, ca factor de primă importanță, fără de care este imposibilă dezvoltarea eroziunii, este dependentă de condițiile fizico-geografice într-atât de mult, încât modificarea acestora duce imediat la modificarea scurgerii și în consecință și a eroziunii.

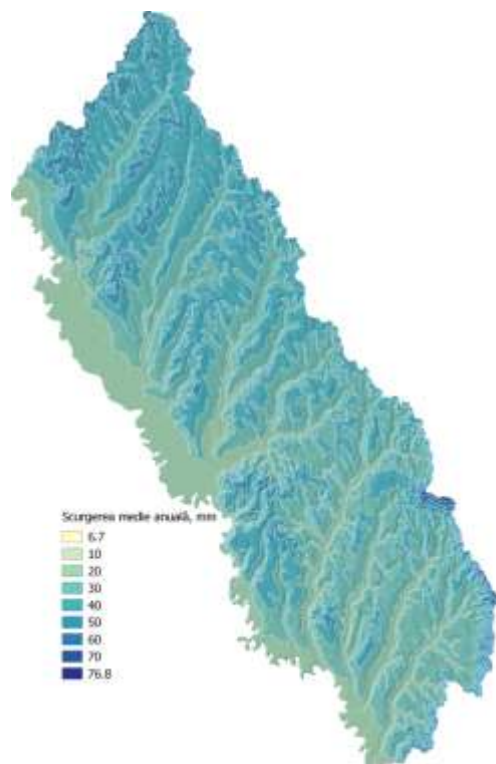


Fig. 2.33. Scurgerea medie anuală

Factorii principali care influențează scurgerea lichidă sunt cei climatici, reprezentați în primul rând de precipitații, apoi de evaporație și temperatura aerului. Alți factori care influențează scurgerea sunt: geologia, relieful, solul, vegetația și factorul antropic.

Scurgerea lichidă medie. Luând în considerație faptul că, componentele bilanțului hidric, reprezintă prin sine caracteristici zonale, putem realiza generalizarea spațială a acestora prin intermediul evidențierii legăturilor de corelație între altitudinea punctelor de observație (H), și coordonatele lor (X, Y). Ca rezultat, se obțin ecuațiile corelației liniare multiple pentru componentele bilanțului hidro-climatic – precipitații medii anuale (P_{an}) și scurgere de suprafață (S_{cl}), care iau următoarele forme [7, 34]:

(2.1)

$$P_{an} = -710{,}78 + 0{,}48 \times H + 0{,}00023 \times X + 0{,}0002 \times Y$$

(2.2)

$$S_{cl} = -62{,}6 + 0{,}077 \times H - 0{,}0000049 \times X - 0{,}0000058 \times Y + 0{,}21 \times P_{an}$$

Unde: H – altitudinea stațiilor meteorologice, m; X, Y – coordonatele carteziene ale stațiilor meteorologice, m; P_{an} – cantitatea anuală de precipitații, mm; S_{cl} – scurgerea medie climatică, mm.

În baza acestor formule s-a realizat modelarea cartografică a acestor componente (Figura 2.33). O caracteristică hidrologică a râului Prut și a afluenților săi este scurgerea lichidă redusă în toate perioadele anului, cu valori mai mari primăvara datorită ploilor și topirii zăpezii.

2.4. Utilizarea și acoperirea terenurilor

Zona de studiu prezintă, la nivelul anului 2004, un bilanț teritorial în care ponderea terenurile agricole este extrem de mare (73,5% din total), dar apropiată de valoarea înregistrată la nivelul Republicii Moldova – 80%.

Din suprafața de 231.534 ha a localităților poziționate total sau parțial în cadrul câmpiei (5 orașe și 84 comune rurale) 170.138 ha sunt terenuri agricole. Această din urmă suprafață este defalcată astfel: 120.563 ha terenuri arabile, 37.982 ha pășuni și fânețe, 11.593 ha vii, livezi și pepiniere viticole sau pomicole (Tabel 2.5).

Suprafețele neagricole constituie 26,5% din total, iar terenurile împădurite însumează, în ansamblul teritoriului, 27.817 ha (sau 12,0 %).

Prezența pădurilor constituie o componentă importantă a vieții social-economice a locuitorilor din spațiul unde acestea sunt prezente. Este evident faptul că în prezent pădurea este apreciată în zonă doar prin valoarea sa ca resursă economică (material de combustie, material de construcție), fiind desconsiderate beneficiile sale în calitate de componentă majoră a mediului, legate de atenuarea efectelor proceselor geomorfologice actuale (eroziune, alunecări de teren, prăbușiri etc.), de moderarea exceselor climatice, de rafinare și purificare a aerului sau de spațiu de recreere.

Tab. 2.5. Structura tipului de acoperire a terenului la nivelul anului 2004

Nr	Acoperirea terenului	Suprafața, ha	% din total
1	Ape și zone umede	10.764	4,6
2	Arabil	120.563	52,1
3	Culturi multianuale	11.593	5,0
4	Pajiști	37.982	16,4
5	Păduri	27.817	12,0
6	Sol neacoperit	377	0,2
7	Spații construite	22.438	9,7
	Total	231.534	100,0

Apele acoperă în medie o suprafață de 4,6 % din suprafața regiunii, iar în total, în acest teritoriu sunt 10.764 ha lucii de apă. Existența lacurilor din lunca Prutului, fie ele naturale sau

antropice constituie un element pozitiv atât prin prezența în mediu (spațiu cu diversitate biologică importantă, efecte climatice favorabile), cât și sub aspectul utilității socio-economice (pescuit, turism și agrement).

Spațiul construit și cel acoperit de curte constituie 22.438 ha, respectiv 9,7 % din totalul cumulat al suprafeței câmpiei. Valoarea este destul de mică și indică potențialul important de care dispune regiunea pentru o dezvoltare echilibrată.

Analizând bilanțul teritorial al utilizării/acoperirii terenurilor din zona de studiu, remarcăm următoarele: ponderea mare a terenurilor agricole constituie caracteristica dominantă a spațiului analizat; suprafețele acoperite de apă sunt semnificative și au rol important pentru comunitățile umane în al căror teritoriu se găsesc; pădurile îmbracă aproximativ 12% din suprafața analizată, dar după cum au relevat etapele de documentare pe teren sunt sub o exploatare intensă, dincolo de pragul de refacere, astfel că este de așteptat o atrofiere a acestora.

2.5. Cadrul pedo-geologic

2.5.1. Geologia zonei de studiu

Din punct de vedere tectonic, câmpia Prutului de Mijloc se desfășoară în cadrul unei unități structurale – Platforma Moldovenească. Aceasta are un fundament proterozoic rigid care înclină din nord-est spre vest și care cade în trepte spre sud. Este alcătuit îndeosebi din gnaisuri, paragnaisuri, șisturi migmatitice, granituri, bazalturi etc. La Ungheni fundamentul cristalin se găsește la o adâncime de 1114 m. Peste fundamentul cristalin urmează o cuvertură sedimentară realizată în mai multe cicluri [24].

Depozitele vendiene, având o răspândire largă pe întreg teritoriul Republicii Moldova, sunt prezente aici prin două sisteme: inferior și superior. Formațiunile Paleozoicului sunt prezente prin depozitele Ordovicianului (superior) și Silurianului (inferior și superior). Ordovicianul este dezvoltat la nord de Ungheni, fiind reprezentat de gresii micro- și medio-granulare de culoare gri, cu grosimi de până la 7 m. Acoperișul stratului, la Cornești, se găsește la 707,5 m adâncime. Silurianul inferior este compus din calcare, argilite, dolomite, marne, pe alocuri anhidrite. Grosimea depozitelor Silurianului inferior ajunge la 90-110 m. Silurianul superior este reprezentat de calcare, dolomite cu stratificări de marne, calcare dolomitizate, anhidrite și metabentonite. Grosimea totală a depozitelor Silurianului superior atinge 270-500 m [24].

Mezozoicul este reprezentat de depozitele Cretacicului superior. Acestea sunt dezvoltate în tot teritoriul Republicii Moldova, la nord de sat. Gotești. În nordul republicii (în afara zonei de studiu) apar la suprafață în valea Prutului (la nord de Bădragii Noi).

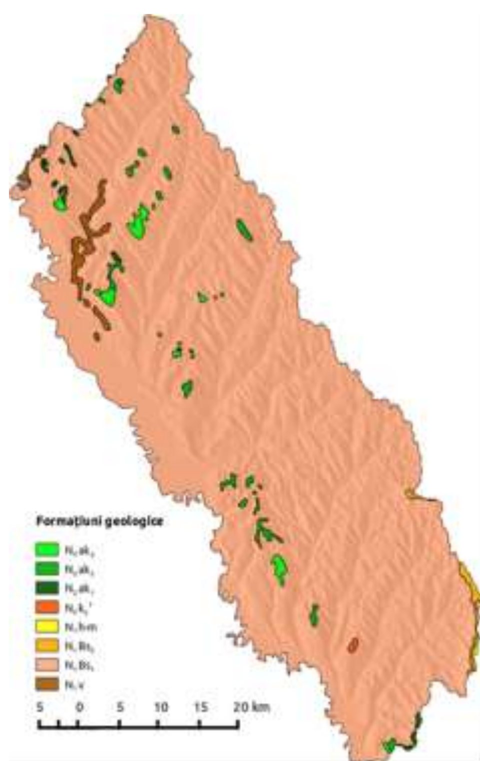


Fig. 2.34. Harta geologică Sc. 1:200.000 [24]

Rocile Cretacicului superior sunt reprezentate de nisipuri glauconit-cuarțoase, aleurite, gresii, marne, spongilite, calcare cuarțoase și tripoli cu noduli de cuarț. La baza Cretacicului superior se întâlnesc conglomerate. În zona Cornești depozitele cretacice se află la 270 m adâncime și grosimea lor atinge 40 m. Participă la formarea părții inferioare a versanților văii Prutului în partea superioară a bazinului [24].

Tab. 2.6. Geologia pre-cuaternară a zonei de studiu [24]

Cod	Diviziuni crono-stratigrafice	Depozite
N2ak3	Romanian (Akchagyl) Superor	Nisipuri cu lentile de prundiș și pietriș, argile
N2ak2	Romanian (Akchagyl) Mediu	Nisipuri, aleurite, argile, prundiș
N2ak1	Romanian (Akchagyl) Inferior	Nisipuri cu lentile de prundiș și pietriș
N2k21	Dacian (Kimmerian) Mediu	Nisipuri cu lentile de prundiș, aleurite, argile
N1h-m	Chersonian - Meoțian	Nisipuri, aleurite, argile
N1Bs2	Basarabian Superior	Argile, nisipuri, calcare
N1Bs1	Basarabian Inferior	Argile, nisipuri, calcare, diatomite, calcare recifale
N1v	Volhinian	Calcare, nisipuri, calcare recifale, argile

Neozoicul este reprezentat de depozite neogene și cuaternare, având o răspândire largă. Sistemul Neogen este răspândit pe întreg teritoriul, iese la zi datorită eroziunii fluviale, fiind

reprezentat prin diverse faciesuri maritime și continentale. În zona de studiu se dezvoltă pe larg depozitele miocene (Figura 2.34).

Miocenul este reprezentat prin depozite variate: calcare, argile, marne, nisipuri, gresii, aleurite. Acestea servesc drept acvifere importante. Miocenul se împarte în două serii: Miocenul mediu și Miocenul superior. Miocenul mediu este reprezentat de depozitele badeniene, care apar la zi pe versanții văilor afluenților Prutului: Vilia, Lopatnic, Draghiște, Racovăț, Ciuhur (înafara zonei de studiu) și Camenca. Sunt formate din: calcare, argile nisipoase vulcanogene, gresii cuarțoase, gipsuri. Miocenul superior este reprezentat de roci maritime și continentale de vârstă sarmațiană și meoțiană.

Grosimea depozitelor etajului Sarmațian crește de la nord la sud. Se împarte Sarmațianul în trei subetaje: Volinian, Basarabian și Hersonian. Cele mai vechi depozite care apar la suprafață sunt depozitele voliniene, reprezentate prin calcare, nisipuri, calcare recifale și argile. Grosimea Volinianului este de 20-50 m. Acestea aflorează în nord-vestul câmpiei în valea Camencii și pe sectorul Costești-Duruitoarea.

Depozitele pre-cuaternare care apar la zi sunt reprezentate, pe cea mai mare parte a câmpiei, prin depozitele Basarabianului inferior, reprezentate fiind de argile, nisipuri, calcare, diatomite, calcare recifale [24]. Grosimea acestui subetaj variază destul de mult, ajungând la maxim 360-370 m. Formează versanții văilor și vâlcelelor. Pe rama codrică a câmpiei, pe sectoare mai înalte, se răspândesc depozitele hersoniene, reprezentate prin argile, nisipuri, calcare și, respectiv, nisipuri, aleurite și argile.

Depozitele pliocene sunt reprezentate prin roci aluviale ale teraselor superioare ale Prutului.

Cele mai recente, depozitele Romanianului (Akchagyl), se întâlnesc pe interfluviile, cele mai înalte, dintre Ciuhur și Camenca, Camenca, Camencuța și Căldărușa, precum și pe linia Rediul de Jos – Buciumeni și în interfluviul Delia-Vârșava. Acestea sunt reprezentate prin nisipuri cu aleurite, argile și prundișuri.

Depozitele cuaternare sunt omniprezente în zona de studiu. Acoperă depozitele mai vechi, fiind reprezentate prin aluviul teraselor pleistocene (pietrișuri, prundișuri, nisipuri și argile), depozitele holocene ale luncilor și formațiunile proluvial-coluviale (luturi, loess, luturi nisipoase, soluri fosile, detritus, prundișuri, coluviu).

Astfel, în structura geologică a regiunii, participă o varietate mare de roci, cu proprietăți fizico-chimice diverse, care au influențat în mare măsură asupra particularităților reliefului,

asupra modului de formare a rețelei hidrografice actuale și asupra specificului de manifestare a proceselor geo-modelatoare.

2.5.2. Solurile

Solul – reprezintă pentru diferiți specialiști nu tocmai același lucru. Astfel, pentru un agricultor solul este mediul în care cresc plantele iar pentru un inginer solul este un suport pentru construcții sau un material care trebuie înlăturat. Pentru un hidrolog solul reprezintă o sursă de apă sau un mediu de infiltrare și purificare a apei; pentru pedolog sau pedogeograf solul este însă un corp natural 3D sau chiar 4D, care s-a format la suprafața Pământului ca urmare a interacțiunii a cel puțin 5 factori (clima, biota, relieful, materialul parental și timpul). Solul variază spațial atât pe orizontală cât și pe verticală.

Condițiile orofitoclimatice au determinat o desfășurare zonală și chiar o ușoară etajare a principalelor tipuri de soluri. Defrișarea, procesele erozionale pe versanți au determinat degradarea, în stadii diferite, a solurilor și scăderea corespunzătoare a posibilității de folosire a lor. O mare parte din fondul pedologic se caracterizează printr-o fertilitate medie spre foarte bună, solurile aflându-se la altitudini mai mici de 350 m, dezvoltate în condiții fitoclimatice de silvostepă, pe un substrat care asigură circulația apei și pe versanți cu pante reduse pe care eroziunea lipsește sau este foarte slabă. În regiunea de dealuri înalte unde sau format soluri de pădure, fertilitatea, îndeosebi pentru culturile de câmp, este mai scăzută. Această caracteristică este cea mai redusă la solurile hidromorfe, halomorfe și erodisoluri.

Din punct de vedere pedologic zona de studiu se atribuie la „raionul deluros de silvostepă al Prutului Mijlociu” [29, 23]. Prezența unor fragmente de pădure de stejar și carpen [25] permite de a include acest „raion” la zona de silvostepă [4].

Tab. 2.7. Ponderea claselor de soluri

Nr	Clasă soluri	Aria suprafeței, mii km^2	%
1	Silvostepă	398,6	17,3
2	Stepă	1431,2	62,0
3	Azonal	479,5	20,8
	Total	2309,3	100,1

În cadrul raionului predomină: argile ușoare eluvial-deluviale și luturi argiloase care ocupă 42,3% din suprafață, la fel și luturi loessoidale (pe terasele Prutului) - 33% (Tabel 2.7 și Figura 2.35).

Suprafețe considerabile revin depozitelor aluviale din luncile Prutului și afluenților (14,2%), acestea se deosebesc din punct de vedere granulometric, predominând rocile grele și

adesea sărăturate [32]. De asemenea, la suprafață apar argile prăfoase/lutoase sarmațiene, iar în sectorul inferior al văii Ciuhurului – calcare [27].

Circa, 12% din teritoriu este acoperit de păduri, însă, judecând după structura cuverturii de sol, acest procent ajungea în trecut la 30%.

Învelișul de sol este destul de pestriț: domină cernoziomurile levigate și tipice (împreună acestora le revin 37,1% din teritoriu), pe lângă care se mai răspândesc soluri silvice și cernoziomuri tipice (9,1%) și carbonatice (3%).

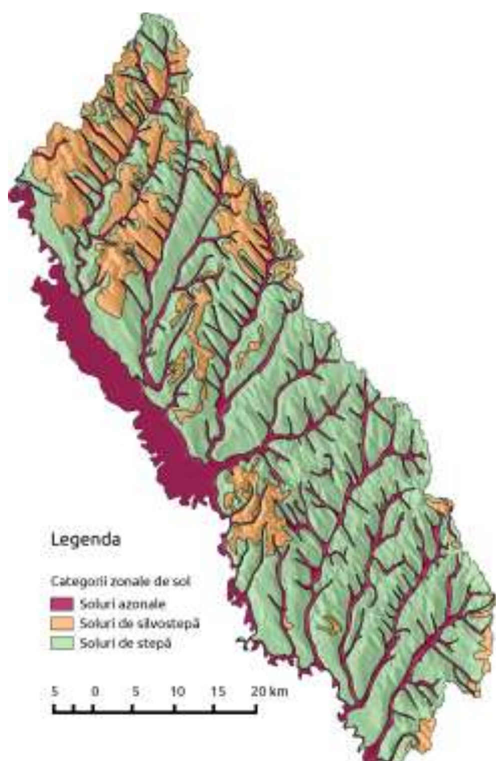


Fig. 2.35. Clase zonale de soluri (după Harta Solurilor, Sc. 1:200.000)

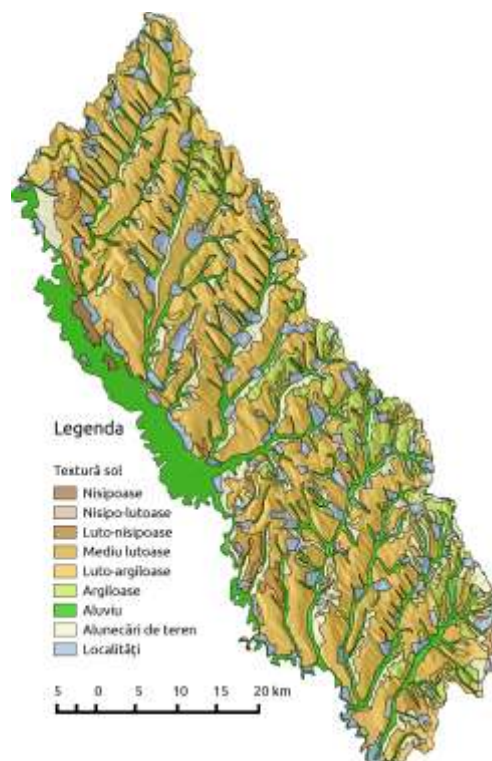


Fig. 2.36. Textura solului (după Harta Solurilor, Sc. 1:200.000)

Pe interfluviile înalte, sub sectoarele de pădure care s-au mai păstrat încă, dar și pe terenurile învecinate, acoperite cândva de păduri, se răspândesc soluri cenușii de pădure (2,2%) și cenușii închise (5,6%), în special luto-argiloase și luto-nisipoase (Figura 2.36). Spațiile interfluviale largi și netede, precum și terasele vechi ale Prutului sunt ocupate de cernoziomuri levigate și tipice.

Pe altitudine, solurile se distribuie astfel: solurile cenușii de pădure - 227 m, solurile cenușii închise de pădure - 218, cernoziomurile podzolite - 192, cernoziomurile levigate - 192, tipice - 180 și obișnuite - 153 m [33].

Pe sectoarele cu substrat calcaros sau format soluri humifer-carbonatice, sub vegetația de stepă – cernoziomuri rezidual-carbonatice. De argilele sarmațiene sunt legate solurile compacte, solonețurile și cernoziomuri solonețizate, toate aceste soluri având însă o pondere redusă.

Învelișul de sol este afectat de eroziune și alunecări de teren în proporție de aproximativ 10%. Solurile de cernoziom și cele silvice mediu și puternic erodate ocupă 6,7% din suprafața regiunii – o suprafață aproximativ egală cu cea afectată de alunecări de teren [35].

Aproximativ 14% din suprafața regiunii este acoperită de soluri aluviale, în lunca Prutului și luncile afluenților acestuia. Solurile aluviale sunt destul de variate: între cele de pajiște de luncă și solonceacuri.

2.6. Concluzii la capitolul 2

1) Condițiile naturale, precum și modificările antropice înregistrate în zona de studiu, se prezintă ca fiind favorabile pentru dezvoltarea proceselor erozionale; un rol important în acest sens jucându-l relieful, caracterizat prin prezența pantelor mai mari de 5^o (32,9%), o valoare medie ridicată a energiei reliefului, de 61,5 m, și o pondere de 6,61% a suprafețelor cu adâncimea fragmentării reliefului de peste 100 m, precum și o densitate a fragmentării reliefului care trece chir și de 2,5 km/km^2.

2) Formele liniare de eroziune în număr de 10.126 de organisme erozionale, au o lungime medie de 107,2 m și o lungime însumată de 1085,69 km. Astfel, densitatea medie a organismelor erozionale este de 0,47 km/km^2, depășind însă, în unele sectoare, chiar și 6 km/km^2. Formele eroziunii în adâncime se dezvoltă în toate subunitățile de relief, dar cu frecvențe și intensități diferite. Cea mai mare prezență este caracteristică jumătății de sud-est a Câmpiei Prutului de Mijloc, îndeosebi în vecinătatea Podișului Codrilor.

3) Prezența unor fragmente de pădure de stejar și carpen permite de a atribui regiunea la zona de silvostepă, formând „raionul deluros de silvostepă al Prutului Mijlociu”, cu predominarea cernoziomurilor levigate și tipice (37,1%), pe lângă care se mai răspândesc soluri aluviale, soluri de pădure și cernoziomuri tipice (9,1%) și carbonatice (3%), formate pe un substrat compus din: argile ușoare eluvial-deluviale și luturi argiloase (42,3% din suprafață) și luturi loessoidale (pe terasele Prutului) - 33%.

3. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

Există la moment o serie de implementări în mediu SIG a unor instrumente, module și extensii specializate în calcularea unor parametri folosiți la modelarea eroziunii sau direct pentru calcularea ratei eroziunii solului (Tabel 3.1).

Tab. 3.1. Implementări în SIG a unor instrumente de modelare a eroziunii

Modulul	Programul	Descriere
Modulul ***LS Factor***	SAGA	Calculează factorii L și S
Modulul ***MMF-SAGA Soil Erosion Model***	SAGA	Relații între energia cinetică (KE) și intensitatea precipitațiilor (I)
Modulul ***r.watershed***	GRASS	Calculează parametri hidrologici și factori RUSLE
Modulul ***r.flow***	GRASS	Calculează căi de scurgere, lungimea căilor de scurgere și suprafața de drenaj după MNAT
Modulul ***r3.flow***	GRASS	Calculează liniile de scurgere și suprafața de drenaj 3D
Modulele ***r.stream.****	GRASS	Modulele ***r.stream.order***, ***r.stream.basins***, ***r.stream.distance***, și ***r.stream.stats*** sunt specializate în analiza hortoniană
Modulul ***r.topidx***	GRASS	Creează indicele topografic (al umidității) după MNAT
Modulul ***r.terraflow***	GRASS	***r.terraflow*** folosește la intrări MNAT, calculând direcțiile de scurgere și suprafața de drenaj ș.a.
Modulul ***r.topmodel***	GRASS	Simulează modelul hidrologic bazat pe fizică TOPMODEL
Modulul ***r.usler***	GRASS	Calculează factorul R (al erozivității precipitațiilor) din USLE
Modulul ***r.uslek***	GRASS	Calculează factorul K (al erodibilității solului) din USLE
Modulul ***r.sim.water***	GRASS	Simulează scurgerea de suprafață utilizînd metoda „path sampling" (SIMWE)
Modulul ***r.sim.sediment***	GRASS	Simulează transportul de sedimente și eroziunea/acumularea utilizând metoda „path sampling" (SIMWE)
Modulul ***r.drain***	GRASS	Trasează torenți printr-un MNAT

3.1. Modelarea eroziunii hidrice a solului

3.1.1. Factorul erozivității precipitațiilor

Precipitațiile prin caracterul lor reprezintă un agent activ de modificare a naturii. Caracterul torențial al precipitațiilor creează condiții pentru dezvoltarea eroziunii [38], inclusiv în condițiile Republicii Moldova, unde cantitatea maximă diurnă a precipitațiilor poate varia între 20 și 220 mm. După datele stației Bălțata, cantitatea de sol spălat de precipitațiile sub formă de averse a constituit până la 37 m^3/ha [30].

Caracteristici ale precipitațiilor precum: frecvența, durata, cantitatea, intensitatea și energia cinetică joacă roluri importante în eroziunea solului prin acțiunea apei.

Erozivitatea precipitațiilor este definită ca agresivitatea precipitațiilor în calitate de agent antrenat în procesele de eroziune și transport al sedimentelor. Expresia cantitativă a parametrilor precipitațiilor și scurgerii care cauzează eroziunea solului este factorul erozivității R din modelul USLE [187, 188] și RUSLE [147]. După cum a fost arătat în lucrări anterioare, factorul R se prezintă a fi in indice care corelează bine cu pierderile de sol în toată lumea [148].

Datele privind erozivitatea precipitațiilor pot fi utilizate ca indicator al **riscului potențial al eroziunii** [130]. Erozivitatea precipitațiilor este puternic influențată de intensitatea și durata evenimentelor pluviometrice și de cantitatea și debitul specific al scurgerii rezultante.

Valoarea lui R integrează **cantitatea, intensitatea, durata și energia cinetică** a precipitațiilor. Diferențele în distribuția factorului R reflectă diferențele în distribuție precipitațiilor. Prin urmare, valorile factorului R pot fi obținute de pe hărți cu izorodente, din tabele sau pot fi calculate din date meteorologice istorice [148].

Valoarea anuală (sau pentru alt interval de timp) a factorului R este calculată ca sumă a valorilor factorului R pentru evenimentele erozive individuale produse pe parcursul respectivei perioade. Un eveniment eroziv este un eveniment pluviometric cu o cantitate de precipitații mai mare de 12,7 mm (0,5 in), sau cu cel puțin 6,35 mm (0,25 in) acumulate timp de 15 min. Evenimentele erozive sunt separate unele de altele dacă cantitatea de precipitații timp de 6 ore este sub 12,7 mm. Pentru calcularea factorului R sunt necesare date de precipitații (pluviografice) cu o rezoluție temporală mai mare de 30 min; date care adesea lipsesc sau sunt limitate [143].

În cadrul modelului USLE, [188] au dezvoltat ecuația empirică de calcul a erozivității precipitațiilor; în care energia disponibilă pentru a disloca sedimente în timpul căderii precipitațiilor este egală cu produsul cantității totale de energie cinetică (**E**) și intensitatea precipitațiilor (**I**). Matematic, factorul R se reprezintă astfel [9]:

$$R = \sum_{i=1}^{n} (E\, I_{30})_i \qquad (3.1)$$

Unde: n - numărul de averse, EI_{30} – indicele erozivității precipitațiilor.

Modelul RUSLE utilizează abordarea lui [49] pentru calcularea valorii medii anuale a erozivității precipitațiilor (R, MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}) [147].

(3.2)

$$R = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{k=1}^{m_j}(EI_{30})_k\right]_j$$

Unde: n – numărul anilor luați în calcul, m_j – numărul de evenimente erosive pentru anul dat j, și EI_{30} – indicele erozivității precipitațiilor pentru un eveniment unic k.

Factorul R reprezintă media sumei parametrului **EI** pentru toate evenimentele pluviometrice din perioada de referință. Reieșind din analiza datelor, [188], au stabilit că cele mai reprezentative sunt precipitațiile pe durata de 30 minute de intensitate maximă (**I_{30}**). În modelul RUSLE, erozivitatea pentru un eveniment eroziv (EI_{30}) se obține din ecuația:

(3.3)

$$EI_{30} = \left(\sum_{r=1}^{o} e_r v_r\right) I_{30}$$

Unde: EI_{30} – erozivitatea precipitațiilor (MJ mm ha^{-1} h^{-1}); e_r – energia cinetică (MJ ha^{-1} mm^{-1}) pentru un interval de timp r; v_r – cantitatea de precipitații (mm) pentru un interval de timp r; și I_{30} – intensitatea precipitațiilor pentru 30 min de intensitate maximă (mm h^{-1}).

Hietograma din Figura 3.1 reprezintă un exemplu de ploaie divizată pe intervale de 30 minute, cu intensitatea constantă aproximată.

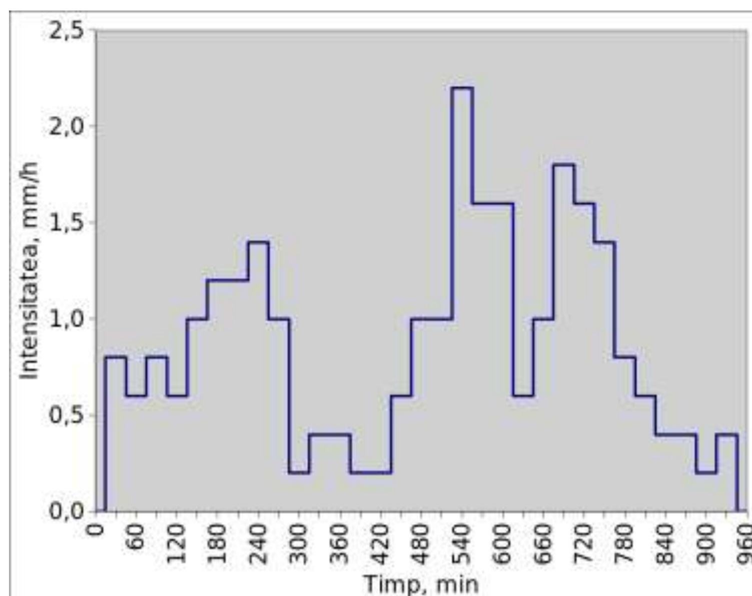


Fig. 3.1. Hietogramă divizată pe intervale de 30 min.

Intensitatea precipitațiilor (**I**) rezultă din raportul între cantitatea (**P**, în in, mm sau cm) și durata acestora (**T**, ore):

(3.4)

$$I = \frac{P}{T}$$

Intensitatea precipitațiilor pentru 30 min de intensitate maximă (I_{30}) este calculată din formula:

(3.5)

$$I_{30} = \frac{P_{30}}{0,5\,h}$$

Unde: P_{30} - cantitatea de precipitații pentru 30 min de intensitate maximă [194].

Energia cinetică a precipitațiilor

Energia cinetică a ploilor poate fi exprimată fie ca funcție de timp (J m^{-2} h^{-1}), fie ca funcție de volum (J m^{-2} mm^{-1}) [107]. De regulă, energia cinetică este exprimată ca funcție de volum, dat fiind simplicitatea calculării energiei cinetice din intensitatea precipitațiilor, precum și reieșind din disponibilitatea datelor necesare pentru calcul [188, 107].

Energia cinetică a unei picături este dată de relația [175]:

(3.6)

$$E_c = \frac{m \times v^2}{2}$$

Unde: E_c - energia cinetică, jouli; m - masa picăturii, g; v - viteza picăturii, m s^{-1}.

Viteza de cădere a picăturilor poate fi estimată din ecuația stabilită experimental și aplicabilă pentru diferite areale geografice [94]:

(3.7)

$$v = 9,5(1 - \exp(-0,5 D^{1,13}))$$

Unde: D - diametrul picăturii, mm.

Masa picăturii rezultă din produsul dintre volumul picăturii (V) și densitatea apei (ρ):

(3.8)

$$m = V \times \rho$$

Unde: m - masa picăturii; V - volumul picăturii; ρ - densitatea apei (kg m^{-3}).

Volumul picăturii poate fi calculat dacă se cunoaște raza acesteia:

(3.9)

$$V = \frac{4\pi D^3}{6}$$

Unde: r - raza picăturii, mm; π - 3,14.

Astfel, masa picăturii de ploaie este dată din ecuația:

$$m = \frac{4\pi D^3}{6}\rho \tag{3.10}$$

Deci, pentru calcularea energiei cinetice a precipitațiilor pe unitate de suprafață și pe un interval de timp este necesar de cunoscut: numărul de picături, viteza medie și diametrul mediu al acestora. Obținerea unor asemenea date este un proces destul de laborios și costisitor, necesitând măsurarea distribuției picăturilor de ploaie cu ajutorul disdrometrelor. Rețelele actuale de stații meteorologice, de cele mai multe ori, nu înregistrează acești parametri ai precipitațiilor. Astfel, apare necesitatea recurgerii la unele ecuații empirice, prin care energia cinetică a precipitațiilor este calculată reieșind, spre exemplu, din intensitatea precipitațiilor. De asemenea, în practica de zi cu zi, pot fi utilizate diverse nomograme.

Calcularea energiei cinetice din ecuații empirice

Pentru determinarea valorii **cantității totale de energie cinetică a unei averse**, utilizată pentru inițierea mișcării particulelor de sol în modelul USLE, [188] utilizează ecuația empirică elaborată de [110]:

$$e = 916 + (331)\log_{10} i \;,\; \mathrm{i_m} \le 3\,\mathrm{in/h} \tag{3.11}$$

$$e = 1074\,,\; \mathrm{i_m} > 3\,\mathrm{in/h} \tag{3.12}$$

Unde: e - energia cinetică (*ft tonf acre*$^{-1}$ *in*$^{-1}$, în Sistemul anglo-saxon de unități); i - intensitatea precipitațiilor (*in h*$^{-1}$).

Limita de 3 in/h (76,2 mm/h) se impune datorită faptului că diametrul mediu al picăturilor încetează să mai crească, atunci când intensitatea precipitațiilor depășește 3 in/h [51].

Scrise **în sistem metric de unități**, în cazul în care intensitatea este calculată în milimetri pe oră, Ecuațiile 3.11 și 3.12 iau formele [81]:

$$e_{mm} = 0{,}119 + (0{,}0873)\log_{10} i_{mm} \;,\; \mathrm{i_{mm}} \le 76{,}2\,\mathrm{mm\,h^{-1}} \tag{3.13}$$

$$e_{mm} = 0{,}283\,,\; \mathrm{i_{mm}} > 76{,}2\,\mathrm{mm\,h^{-1}} \tag{3.14}$$

Unde: E - energia cinetică (*MJ ha*$^{-1}$ *mm*$^{-1}$, în Sistemul internațional de unități); I - intensitatea precipitațiilor (*mm h*$^{-1}$).

În cazul în care **intensitatea precipitațiilor este calculată în cm h^{-1}**, avem următoarele expresii [188]:

(3.15)

$$e_{cm} = 210 + (89)\log_{10} i_{cm}\ ;\ \mathrm{i_{cm}} \le 7{,}62\ \mathrm{cm\ h^{-1}}$$

(3.16)

$$e_{cm} = 289\ ;\ \mathrm{i_{cm}} > 7{,}62\ \mathrm{cm\ h^{-1}}$$

Unde: E - energia cinetică (*MJ ha^{-1} cm^{-1}*, în Sistemul internațional de unități); I - intensitatea precipitațiilor (c*m h^{-1}*).

În 1997 este publicată ecuația RUSLE, care aplică o nouă metodă de calcul a factorului R [147]. Ei utilizează același parametru EI și o ecuație similară cu cea din USLE. De asemenea I_{30} care este determinat prin aceeași metodă. În același timp, valoarea lui E este calculată utilizând o ecuație nouă:

(3.17)

$$E = \sum_{k=1}^{m} e_r \times v_r$$

Unde: e_r - energia precipitațiilor pe unitate de măsură a grosimii stratului de precipitații (in sau mm) pe unitate de suprafață (acre sau hectare); v_r - grosimea stratului de precipitații (in sau mm), pentru un interval de hietogramă divizată în *n* părți, fiecare cu o intensitate a precipitațiilor constantă (in h^{-1} sau mm h^{-1}).

Pentru fiecare interval al aversei de ploaie, energia cinetică a precipitațiilor (e_r este determinată utilizând o formulă de forma celei propuse de [49]. În unități de măsură anglo-saxone ecuația este scrisă astfel:

(3.18)

$$e_r = 1099\left[1 - 0{,}72\exp(-1{,}27 \times i_r)\right]$$

Unde: i_r - intensitatea constantă estimată pentru un interval de timp, in h^{-1}; e_r - este reprezentată în ft tonf acre^{-1} in^{-1}.

În **SI** ecuația de mai sus ia forma:

(3.19)

$$e_r = 0{,}29\left[1 - 0{,}72\exp(-0{,}05 \times i_r)\right]$$

Unde: e_r – energia cinetică pentru interval, MJ ha^{-1} mm^{-1}; i_r - intensitatea precipitațiilor pentru interval, mm h^{-1}.

Grosimea stratului de precipitații este determinat pentru fiecare interval de timp înmulțind intensitatea medie a precipitațiilor pentru intervalul dat la durata intervalului.

(3.20)

$$v_r = i_r \times t_r$$

Unde: v_r - este produsul dintre intensitatea precipitațiilor pentru fiecare interval (i_r) și durata intervalului (t_r).

Intensitatea precipitațiilor (i_r, mm h^{-1}) pentru fiecare interval de timp de 10 min (Δt_r = 1/6 h) este calculat astfel:

(3.21)

$$i_r = \frac{\Delta v_r}{\Delta t_r} = \frac{\Delta v_r}{1/6} = \Delta v_r \times 6$$

Insuficiența de date privind intensitatea precipitațiilor în unele țări face aplicarea modelului USLE mai dificilă, fapt care a determinat interesul pentru noi metode și ecuații de calculare a erozivității precipitațiilor R reieșind din datele disponibile asupra precipitațiilor.

În lipsa hietogramelor, datele privind valorile medii anuale [148] și medii lunare [75] ale precipitațiilor au fost utilizate, de cele mai multe ori, pentru estimarea factorului R pentru USLE/RUSLE.

Utilizarea indicilor Fournier pentru calcularea factorului erozivității

O bună corelație se observă între cantitatea anuală de sol erodat și coeficientul de distribuție a precipitațiilor, cunoscut ca indicele Fournier. Erozivitatea precipitațiilor poate fi dedusă, astfel, în baza indicelui Fournier sau în baza indicelui Fournier modificat [39]. Indicele Fournier se calculează din relația:

(3.22)

$$IF = \frac{p_{max}^2}{P}$$

Unde: p_{max} - cantitatea medie lunară de precipitații pentru luna cea mai umedă (mm); iar P - cantitatea medie anuală de precipitații.

Indicele modificat Fournier este calculat după formula [39]:

(3.23)

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Unde: p_i - cantitatea medie lunară de precipitații pentru luna ***i*** (mm); iar P - media anuală de precipitații (mm).

Se arată [39] că indicele Fournier aproximează bine factorul R cu care se corelează liniar. O corelație dintre IFM și factorul R a fost dezvoltat pentru teritoriul SUA și pentru unele regiuni din Africa:

(3.24)

$$R = 0{,}03 \times F_{mod}^{1{,}9}$$

Acești doi indici (IF și IFM) permit de a evalua probabilitatea manifestării unor averse puternice [157]. Clasele de erozivitate determinate prin utilizarea IF și IFM sunt prezentate în tabelul 3.2.

Tab. 3.2. Clasele de erozivitate după indicele Fournier și indicele Fournier modificat [157, 58]

Clasa de erozivitate	**IF**	**Clasa de erozivitate**	**IFM**
Foarte mică	0-20	Foarte mică	0-60
Mică	20-40	Mică	60-90
Moderată	40-60	Moderată	90-120
Severă	60-80	Ridicată	120-160
Foarte severă	80-100	Foarte ridicată	>160
Extrem de severă	>100		

Autorii [148] au utilizat o formulă mai sigură de evaluare a factorului R din valorile indicelui Fournier modificat (IFM):

(3.25)

$$R = \frac{0{,}07397 \times IFM^{1{,}847}}{17{,}2}, \text{ pentru } IFM < 55mm, \text{ și}$$

(3.26)

$$R = 95{,}77 - 6{,}08 \times IFM + \frac{0{,}477 \times IFM^{2}}{17{,}2}, \text{ pentru } IFM \geq 55mm.$$

Ecuația de regresie între indicile Fournier și factorul R pentru Australia de sud-est după [196] este:

(3.27)

$$R = 3{,}82 \times F^{1{,}41}$$

Utilizarea cantității anuale de precipitații pentru calcularea factorului erozivității

De asemenea, *cantitatea medie anuală de precipitații* poate fi utilizată direct pentru aproximarea valorii factorului R. Astfel, relația dintre factorul R și cantitatea anuală de precipitații (P) pentru partea continentală a Statelor Unite [148] este:

(3.28)

$$R = 0{,}04830 \times P^{1{,}61}$$

Unde: P - cantitatea anuală de precipitații, mm; R - valoarea factorului R, MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}.

Diverși autori au realizat studii empirice în regiuni precum Indonezia, Malaysia, Australia, Honduras ș.a., făcând legătura între valorile factorului R și cantitatea de precipitații (Tabel 3.3).

Tab. 3.3. Calcularea erozivității precipitațiilor după cantitatea anuală de precipitații [56]

	Autor	Formula	Regiunea
1	Bols (1978) Teh (2011)	$R = \frac{2{,}5 \times P^2}{100(0{,}073 \times P + 0{,}73)}$ (3.29)	Indonezia, Malaysia
2	Yu și Rosewell, 1996	$R = 0{,}0438 \times P^{1{,}61}$ (3.30)	Australia de SE
3	Mikhailova et al. (1997)	$R = -3172 + 7{,}562 \times P$ (3.31)	Honduras
4	Torri et al. (2006)	$R = -944 + 3{,}08 \times P$ (3.32)	Italia

Unde: R - erozivitatea în MJ mm ha^{-1} h^{-1}; P - precipitațiile anuale, mm.

Alți indici ai erozivității precipitațiilor

Indicele concentrării precipitațiilor a fost propus de [138] în scopul estimării agresivității averselor din variabilitatea precipitațiilor medii lunare:

$$ICP = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2} \qquad (3.33)$$

Conform cu această clasificare, [138] se sugerează că valorile < 10 reprezintă o distribuție uniformă a precipitațiilor (concentrare mică a precipitațiilor); valorile ICP cuprinse între 11 și 15 denotă o concentrare moderată a precipitațiilor; valorile între 16 și 20 denotă o distribuție neregulată, iar valorile de peste 20 reprezintă o iregularitate mare a distribuției precipitațiilor.

Pentru zona de studiu, valoarea acestui indicator variază între 9,7 și 10,2, ceea ce vorbește în favoarea unei distribuții uniforme a precipitațiilor.

Modelul USLE original utilizează unitățile de măsură anglo-saxone pentru cuantificarea parametrilor de intrare, de aceea este necesar de introdus echivalențele în sistem metric (Anexa A1).

3.1.2. Factorul morfometriei reliefului

Relieful este unul dintre factori determinați, care controlează procesele, ce au loc în scoarța terestră. Relieful bazinului hidrografic are un impact major asupra proceselor

hidrologice, geomorfologice, pedologice și chiar biologice din cadrul acestuia. În particular, relieful este unul dintre factorii pedogenetici principali [154], așa cum acesta influențează: caracteristicile climatice și meteorologice, care controlează regimurile hidric și termic ale solului; precondițiile pentru transportul la suprafață și în subteran al apei și al altor substanțe; precum și distribuția spațială a covorului vegetal.

Relieful reprezintă fără îndoială cel mai important factor condițional în repartiția spațială (altitudinală) a tuturor componentelor și proceselor fizico-geografice, el aflându-se în permanență sub influența agenților și a proceselor de modelare. Modul de manifestare al acestora, intensitatea, ritmul și frecvența, sunt dictate în primul rând de climat, apoi de învelișul bio-pedo-geografic, dar și de componenta litologico-structurală [10].

În acest context, morfologia de ansamblu dar și de detaliu – exprimate de către specificitatea morfometrică și morfografică - determină gruparea spațială a proceselor de modelare actuală a reliefului și, în mod implicit, tipologia formelor și microformelor de relief. Informațiile cantitative și calitative asupra reliefului sunt pe larg utilizate în geoștiințe [78].

Studiul formelor de relief se face în mod obișnuit prin observație directă, în teren, și prin interpretarea aerofotogramelor și a hărților topografice. Pe lângă avantajele oferite de observația directă, aceste metode prezintă și o serie de dezavantaje, datorate subiectivismului celui care observă și interpretează realitatea geomorfologică. În plus, faptul că în zonele împădurite nu se pot distinge adevăratele forme de relief (în special microrelief) constituie un neajuns suplimentar. De asemenea, transferarea interpretărilor din teren sau de pe aerofotograme pe hartă este dificilă și, în funcție de metodele cartografice folosite și de mijloacele grafice la care se apelează, destul de imprecisă. Aplicarea unor programe informatice reduce o mare parte din aceste influențe negative.

Sunt bine cunoscute avantajele lucrului în programe SIG, utilizând modelul numeric altitudinal al terenului. Facilitățile oferite de utilizarea MNAT au fost arătate anterior, de către cercetătorii care l-au aplicat la diverse teritorii [14, 21] ș.a. Această facilitate permite modelarea variațiilor continue ale componentelor peisajului, cum ar fi caracteristicile reliefului, proprietățile învelișului de sol etc.

Parametrii morfometrici ai reliefului

Odată obținută suprafața de lucru, se poate trece la extragerea unor parametri ai reliefului care să permită cunoașterea acestuia, a tendințelor lui de evoluție, precum și a individualizării unor sectoare în stadii diferite de evoluție sau a intensității proceselor de modelare actuală.

Studiul parametrilor morfometrici ai regiunii are o importanță deosebită atât din punct de vedere teoretic, prin studiul indicilor morfometrici de bază ce pot conduce la concluzii în legătură cu evoluția reliefului, a ritmicității evoluției văilor etc., cât și practic, prin datele furnizate în organizarea teritoriului, în agricultură, construcții de căi de comunicație sau amenajarea unor localități.

Se pot distinge atât caracteristici primare care pot fi calculate direct din DEM, cât și secundare sau compuse, care presupun combinarea caracteristicilor primare și constituie indici derivați, fizici sau empirici, care pot caracteriza variabilitatea spațială a proceselor specifice ce survin în peisaj.

Parametri geomorfometrici primari (Anexa 3.1) - includ panta, expoziția versanților, curbura terenului în profil și în plan, lungimea căilor de curgere și suprafața de acumulare etc. Majoritatea acestor parametri topografici sunt calculați din derivatele pe direcții ale suprafeței topografice. Ei pot fi calculați direct prin diferențe finite de ordinul 2 sau prin ajustarea la MNAT a unei funcții de interpolare bivariate $z = f(x, y)$ și apoi prin calcularea derivatelor funcției [125, 78].

Relieful este sursa de date cea mai bogată în informații referitoare la eroziune. Utilizarea Modelului Numeric Altitudinal al Terenului este indispensabilă pentru determinarea unor parametri importanți pentru eroziune, iar panta pare să fie cel mai valoros parametru. Multe dintre sistemele de clasificare a reliefului, utilizează panta ca factor principal pentru descrierea claselor de relief, în paralel cu alți factori ca adâncimea, rata de drenaj sau fertilitatea solului [127]. ***Panta și lungimea căilor de scurgere*** (adică înclinarea și lungimea versanților) au fost utilizați ca parametri în Ecuația Universală a Pierderilor de Sol - USLE. De altfel, acești doi parametri sunt utilizați adesea ca indicatori morfometrici la studierea hazardului eroziunii.

Parametri geomorfometrici secundari (Anexa 3.2) - sunt derivați analitic în baza a doi sau mai mulți parametri primari, cuantifică rolul jucat de topografie în redistribuirea apei în cadrul peisajului ş iau importante implicații hidrologice și geomorfologice asupra peisajului. Aceștia pot afecta parametrii solului, distribuția și abundența apei în sol, vulnerabilitatea peisajelor la eroziune de către apă etc.

Caracterizarea unui teritoriu **din punct de vedere al potențialului eroziunii solului** se poate realiza, de asemenea, prin metode similare celei propuse de [36], care face parte din grupul de metode morfometrice privind studiul erodibilității solului; aceasta se bazează pe experiența lui A. S. Kozmenko în ceea ce privește dezvoltarea a așa numitului coeficient erozional, dat de expresia:

(3.34)

$$E = \frac{H \times R \times S}{10\sqrt{P}}$$

Unde: E - coeficientul erozional; H - adâncimea bazei de eroziune [m]; R - densitatea rețelei hidrografice [km/km^2]; S - coeficientul valorificării agricole a terenurilor (raportul dintre suprafața arabilului și suprafața totală); și P - suprafața bazinului [ha].

Ecuații empirice ale producției de sedimente pot fi dezvoltate și în funcție de doar suprafața de recepție (suprafața de drenaj) în baza cercetării sedimentării în lacuri de acumulare. Spre exemplu, R. I. Strand (1975) a dezvoltat următoarea ecuație empirică pentru sudul și sud-vestul SUA [168]:

(3.35)

$$Q_s = 2{,}4 \times A_d^{-0{,}229}$$

Unde: Q_s - producția de sedimente, ac-ft/mi^2/an; A_d - suprafața de recepție, mi^2.

R. I. Strand și E. L. Pemberton (1975) dezvoltă o ecuație similară pentru sud-vestul Statelor Unite [168]:

(3.36)

$$Q_s = 1{,}84 \times A_d^{-0{,}24}$$

Aceeași abordare poate fi aplicată și pentru alte regiuni.

Indicele topografic al umidității (TWI - Topographic Wetness Index) - cunoscut și sub denumirea de Compound Topographic Index, a fost dezvoltat pentru prima dată de [42], în calitate de componentă a modelului TOPMODEL asupra scurgerii. Indicele TWI este, de obicei, calculat utilizând date de elevație în format raster (MNAT) în mediu SIG. Metodele de calcul al acestui indice diferă, în primul rând, în ceea ce privește modul în care se definesc căile de scurgere, după cum sunt reprezentate gurile de vărsare și în ce unități de măsură se calculează panta versantului [163].

Există mai multe forme ale indicelui umidității, astfel [126] descriu două forme ale indicelui topografic al umidității, pentru cazurile când profilul solului este saturat și nesaturat:

(3.37)

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{tan\beta}\right)$$

(3.38)

$$TWI_T = \ln\left(\frac{A_s}{T \times tan\beta}\right)$$

Unde: W - indicele umidității când se admit proprietăți uniforme pentru sol în cadrul bazinului (transmisivitatea egală cu 1); A_s - aria bazinală specifică (m^2/m); T - transmisivitatea solului saturat; TWI_T - indicele umidității pentru suprafețe cu transmisivitate variabilă; β - panta (în grade) [126].

Ambii indici prezic că punctele cele mai coborâte într-un bazin hidrografic și mai ales acele aflate în apropierea gurii de vărsare ale albiilor principale, sunt mai cele umide puncte din bazinul hidrografic [183]. Trebuie de remarcat că acești doi indici sunt valabili pentru a descrie situații cu scurgere stabilizată.

Alți autori, precum [40], incluzând și conceptul de timp, propun un indice al umidității cvasi-dinamic având forma:

(3.39)

$$TWI_{TT} = \ln\left(\frac{A_e}{T \times tan\beta}\right)$$

Unde: TWI_{TT} - indicele umidității cvazi-dinamic pentru suprafețe cu transmisivitate variabilă; A_e - aria bazinală specifică efectivă; T - transmisivitatea solului saturat; β - panta (în grade) [126].

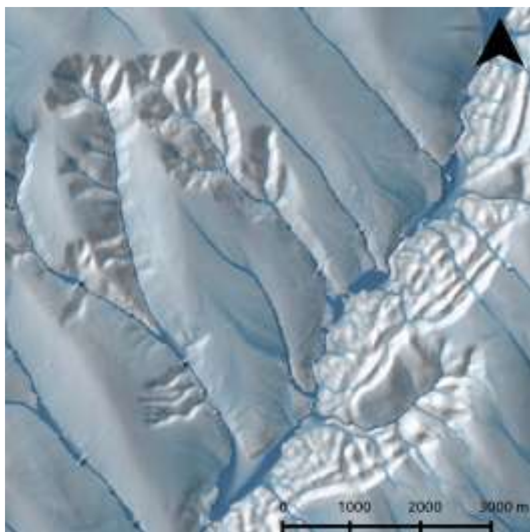


Fig. 3.2. Topographic Wetness Index [55]

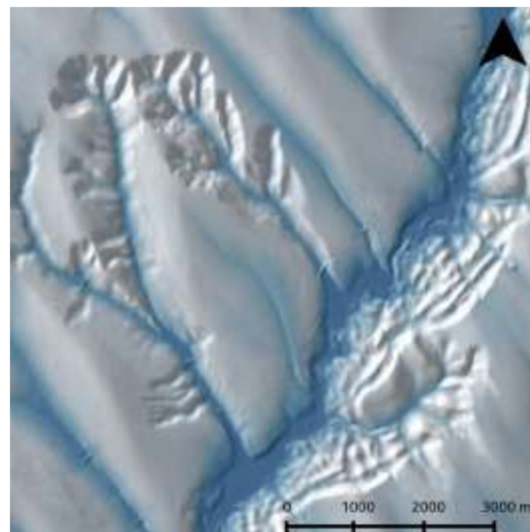


Fig. 3.3. SAGA Wetness Index [55]

SAGA Wetness Index - este similar cu Topographic Wetness Index (TWI), însă se bazează pe așa zisa „arie bazinală modificată” („Modified Catchment Area”), care nu consideră scurgerea ca fiind laminară/peliculară [46]. Ca urmare acest indicator prezice, pentru celulele

rasterului situate în lunci și având o distanță pe verticală foarte redusă față de râu, o umiditate potențială mai realistă decât indicatorul TWI standard.

Pe lângă aceștia, mai există și o serie de indici ai **puterii cursului de apă** (stream power) și ai **capacității de transport a sedimentelor**.

Puterea cursului de apă este rata în timp a transferului de energie și a fost utilizat pe larg pentru studierea eroziunii, transportului de sedimente și a geomorfologiei ca măsură a puterii erozive a apei curgătoare [126]. Puterea cursului de apă este derivată din ecuația:

(3.40)

$$\Omega = \rho \times g \times q \times tan\beta$$

Unde: ρg - unitatea de greutate a apei; q - debitul pe unitate de lățime a cursului; și β - gradientul de pantă (în grade).

Puterea cursului de apă (stream power) este rata de timp a transferului de energie și a fost pe larg utilizată în studiile asupra eroziunii, transportului de sedimente și în geomorfologie ca măsură a puterii erozive a apei curgătoare [126]. Indicele topografic compus (Stream Power Index) de forma:

(3.41)

$$SPI = A_s \times \tan\beta$$

Unde: As - aria bazinală specifică (m^2/m); β = gradientul de pantă (în grade).

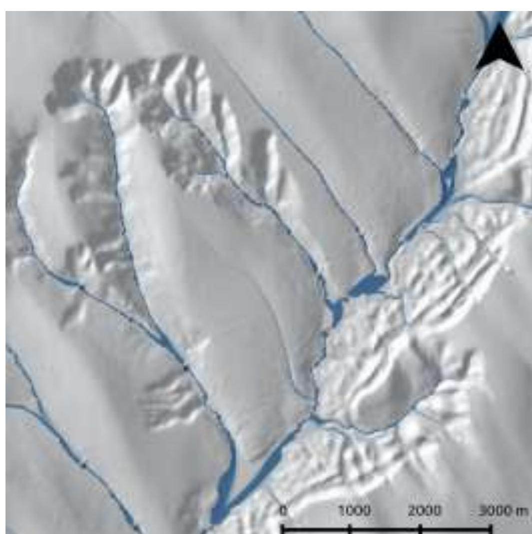


Fig. 3.4. Stream Power Index (SPI) [55]

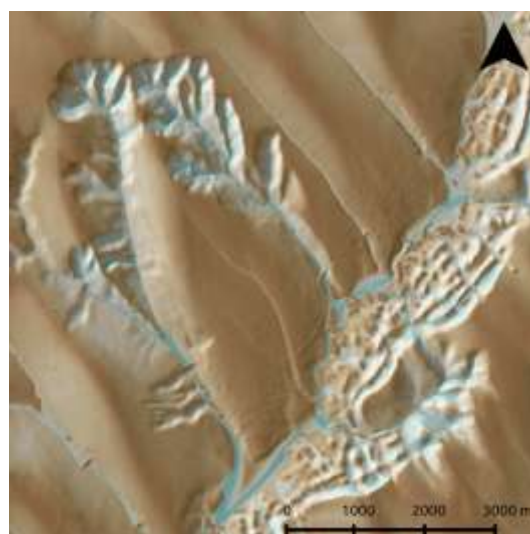


Fig. 3.5. LS Factor [55]

A fost adesea utilizat drept o măsură a puterii cursului de apă (stream power), dat fiind că *ρg* este o valoare constantă iar *q* este proporțional cu A_s [126].

Astfel, [172] dezvoltă un indice pentru identificarea localizării formelor liniare de relief cu caracter efemer (Ephemeral Gully Iniciation Index):

(3.42)

$$EGII = A_s \times \omega \times \tan\beta$$

Unde: ω - curbura în plan.

Modelul USLE [188] calculează indicele LS după formula:

(3.43)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72,6}\right)^m \times \left(65,41 \times \sin^2\beta + 4,56 \times \sin\beta + 0,065\right)$$

Unde: λ - lungimea versantului (picioare/feet); m - o constantă dependentă de pantă; β - panta (%).

În cazul utilizării unităților din Sistemul internațional de unități, ecuația ia forma [122]:

(3.44)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \times \left(65,41 \times \sin^2\beta + 4,56 \times \sin\beta + 0,0654\right)$$

Unde: λ - proiecția orizontală a lungimii versantului (m); m - o constantă dependentă de pantă; β - panta (grade).

Exponentul *m* se referă la raportul (δ) dintre eroziunea prin șiroire și eroziunea prin picături de ploaie [83]:

(3.45)

$$m = \frac{\delta}{1+\delta}$$

Valorile lui δ, pentru condiții de susceptibilitate moderată pentru amândouă formele de eroziune, se calculează din relația [116]:

(3.46)

$$\delta = \frac{\sin\beta / 0,0896}{3,0 \times (\sin\beta)^{0,8} + 0,56}$$

Unde: β - panta (%).

După [188] *m* este egal cu 0,5, dacă panta este egală sau mai mare 5%, 0,4 pe versanți de 3,5-4.5%, 0,3 pe versanții de 1-3% și 0,2 pe versanții sub 1% (Figura 3.6).

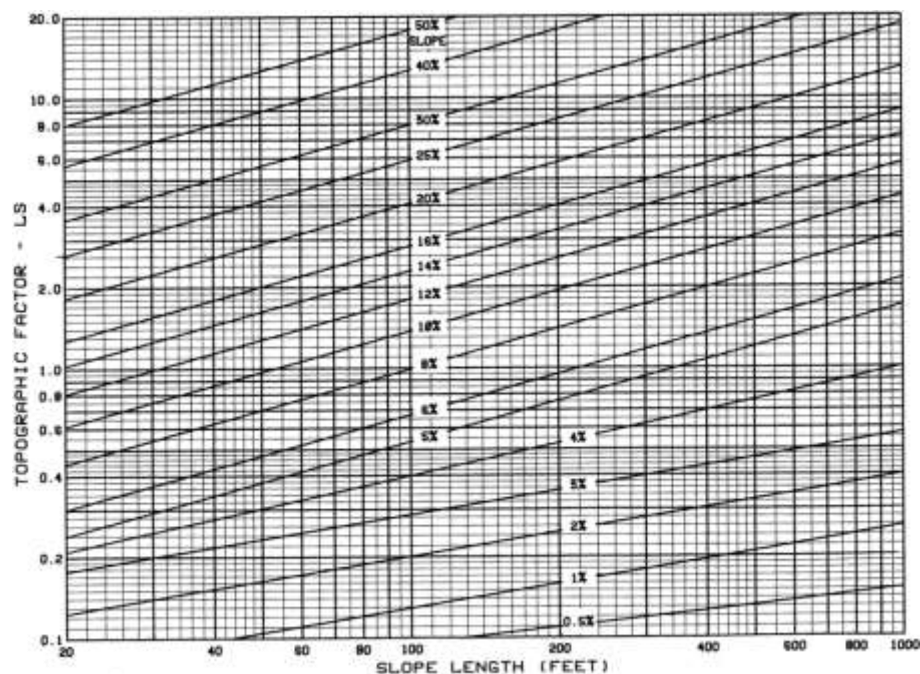


Fig. 3.6. Nomogramă folosită la determinarea factorului LS după valorile înclinării și lungimii versantului [188]

În [123] se precizează că, atât USLE, cât și RUSLE, consideră eroziunea doar în lungul liniilor de scurgere, fără a lua în calcul influența convergenței/divergenței scurgerii. Astfel, aplicarea directă a modelului USLE sau RUSLE, pentru sectoare de teren complex, nu poate fi implementată în SIG.

Pentru a prezice eroziunea într-un punct dat în teren, factorul LS poate fi scris în forma dedusă de [129], aplicând teoria puterii cursului de apă [123, 126]:

(3.47)

$$LS = (n+1)\left(\frac{A_s}{22,13}\right)^n \left(\frac{sin\beta}{0,0896}\right)^m$$

Unde: valorile n=0,6 și m=1,3, care dau rezultate consistente cu factorul LS din RUSLE, pentru lungimi de versant sub 100 m și mărimi ale unghiului de pantă mai mici de 14 grade [128].

Această formă a ecuației factorului LS este preferabilă în cazul unui relief complex, comparativ cu ecuația empirică originală, după cum menționează [127], dat fiind faptul că ia în considerație convergența și divergența scurgerii prin intermediul ariei bazinale superioare specifice (A_s).

Versiuni ale acestei ecuații au fost implementate în softul GRASS GIS [123]. S-a arătat, că arealele cu eroziune netă coincid cu suprafețele convexe în profil și concave tangențial (unde

se manifestă accelerarea și convergența scurgerii), iar arealele cu depunere netă de sedimente coincid cu suprafețele concave în profil (unde scade viteza scurgerii).

Aria bazinală superioară specifică (A_s) este una dintre cele mai utilizate caracteristici hidrologice ale terenului. Aria bazinală specifică însuși poate fi utilizată pentru calculul debitului, sau, împreună cu panta, dau indicele topografic al umidității (TWI) [42, 146] sau indicele puterii cursurilor de apă (SPI) [129, 128]. Acești indici au aplicări multiple în prezicerea modului de inițiere și desfășurare a scurgerii lichide pe versanți [42], în estimarea puterii erozive a apelor curgătoare [128] și ca indicator al poziției topografice pentru delinearea formelor de relief etc. (Figura 3.7).

Parametrul A_s și este dat de expresia:

$$A_s = \frac{\alpha}{W} \tag{3.48}$$

Unde: α - aria bazinală totală, m^2; A_s - aria bazinală specific, m^2/m; W – lungimea segmentului de curbă de nivel cu rol de gură de vărsare, m.

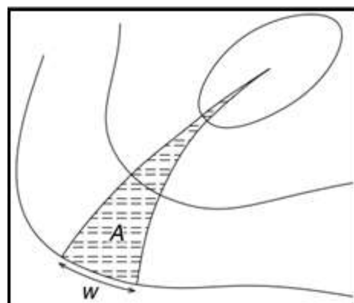


Fig. 3.7. Schema unui torent cu obârșia la partea superioară a versantului și cu deschidere pe o curbă de nivel [86]

Aria bazinală superioară totală (α), pentru un segment de curbă de nivel, este suprafața plană a teritoriului care drenează către segmentul dat. Calcularea parametrului ariei bazinale totale (**α**) este în dependență de algoritmul utilizat pentru calcularea direcției de scurgere: „direcție unică de scurgere” (SFD) sau „direcții multiple de scurgere” (MFD). Ideea care stă la baza algoritmilor SFD este că toată apa de pe un pixel trebuie să se scurgă către un singur pixel vecin, care are altitudinea minimă. Algoritmii MFD acceptă că, dintr-o poziție dată, scurgerea poate drena către mai mult decât un pixel vecin din aval, având fiecare o pondere dictată de mărimea pantei locale [146]. Calcularea ariei bazinale specifice de pe un MNAT este destul de dificil, fapt despre care vorbește și numărul mare de algoritmi care există la moment [57, 86]. Direcțiile de scurgere sunt calculate utilizând modelele MFD (Multiple Flow Direction) și/sau SFD (Single Flow Direction, sau D8), ilustrate mai jos (Figurile 3.8 și 3.9).

Amândouă metodele calculează direcțiile de scurgere (downslope) analizând valorile celulelor rasterului într-o fereastră glisantă de 3x3 pixeli în jurul celulei curente.

3	2	4
7	5	8
7	1	9

Fig. 3.8. SFD

3	2	4
7	5	8
7	1	9

Fig. 3.9. MFD

Calcularea căilor de scurgere și a suprafeței de recepție (suprafața de drenaj) solicită, de obicei, calcularea prealabilă a MNAT „fără depresiuni”, nivelat, precum și specificarea regulilor pentru determinarea direcțiilor de scurgere [100].

Lățimea scurgerii (W) - adică lungimea segmentului de curbă de nivel, în cazul calculării în mediu GIS, pe raster, reprezintă mărimea pixelului și este calculată diferit pentru diferiți algoritmi de inițiere a scurgerii. Astfel, pentru algoritmii D8 și Rho8, lățimea scurgerii este egală cu latura pixelului, pentru scurgerea realizată către cele 4 direcții cardinale și cu diagonala pixelului, pentru scurgerea realizată pe diagonală [183, 184]:

$$W = \begin{cases} h & i = 2,4,6,8 \\ \sqrt{2h} & i = 1,3,5,7 \end{cases} \tag{3.49}$$

3.1.3. Factorul erodibilității solului

Erodibilitatea solului este definită ca rezistență a solului la eroziune și, după cum s-a arătat anterior, corelează bine cu proprietăți măsurabile ale solului, cum ar fi textura, conținutul de materie organică, mărimea și stabilitatea agregatelor de sol, conținutul de apă și structura solului.

Textura solului se referă la proporția de particule minerale cu diametru mediu diferit, de exemplu, proporțiile relative de nisip, nămol și argilă, în special în conformitate cu Ecuația 3.50.

Încă în 1939, H. H. Bennet, în lucrarea sa *„Soil Conservation”,* a enumerat textura ca prima dintre proprietățile solului care trebuie de luat în considerație, atunci când se studiază efectul proprietăților solului asupra erodibilității. În 1965 A. P. Barnett et al. includ proprietățile solului în ecuația de calcul a factorului erodibilității K din formula USLE [186].

În lucrarea [185] este publicată nomograma utilizată apoi pentru estimarea coeficientului erodibilității solului, utilizând 5 parametri ai acestuia: procentul de praf, procentul de nisip foarte

fin, procentul de nisip, conținutul de materie organică și descrierile subiective asupra structurii și permeabilității solului (Figura 3.10).

Mai târziu, în 1978, este publicată și ecuația de regresie însoțitoare (178), care a inclus și codurile (între 1 și 5) pentru structura și permeabilitatea solului:

$$100K = 2{,}1 \times M^{1{,}14} \times \left(10^{-4}\right) \times (12 - a) + 3{,}25(b - 2) + 2{,}5(c - 3) \quad (3.50)$$

Unde: M - (% praf + % nisip foarte fin) * (100 - % argilă); a - procentul de materie organică; b - codul clasei de structură a solului (1-5); c - codul clasei de permeabilitate (1-5).

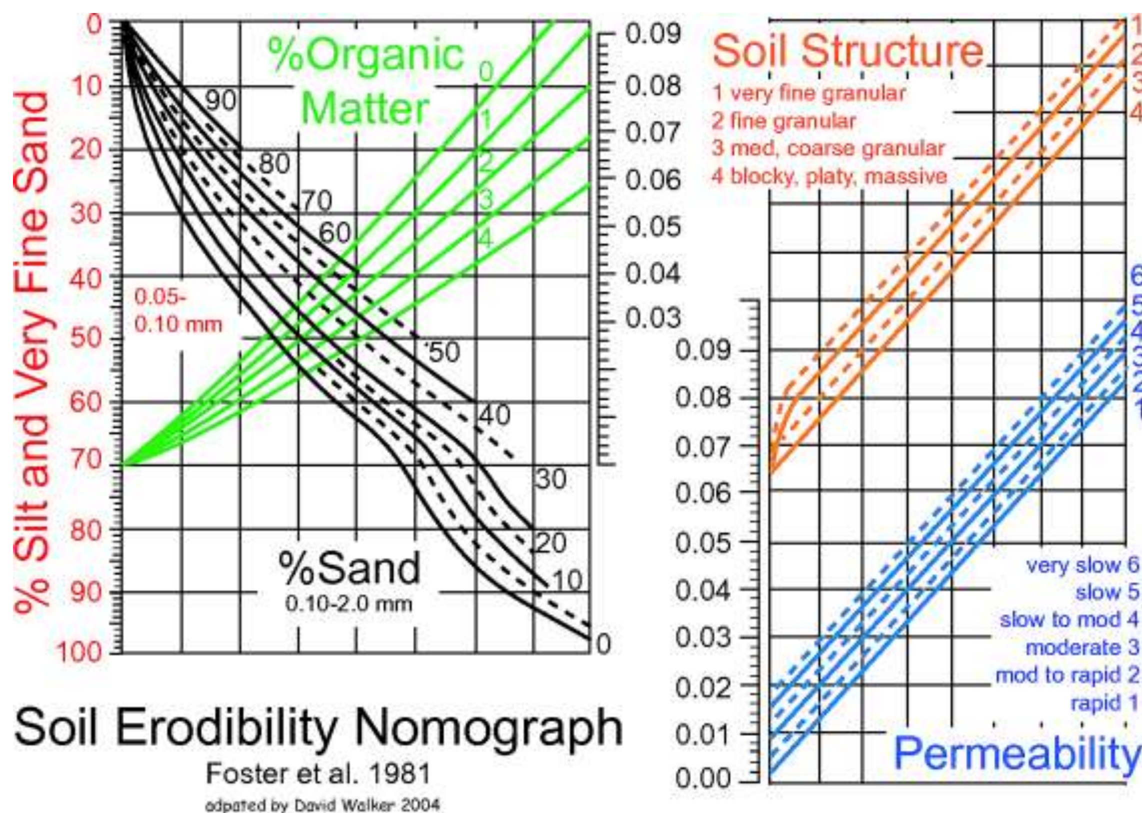


Fig. 3.10. Nomograma erodibilității solului în unități SI [81]

Conținutul de materie organică în sol este a doua, după textură, caracteristică a solului importantă din punct de vedere a erodibilității. Materia organică este importantă pentru participarea sa la formarea structurii solului și a agregatelor stabile de sol.

H. H. Bennet (1939) sugerează că **mărimea, stabilitatea și distribuția** în cadrul profilului de sol a agregatelor trebuie să fie luate în considerare la evaluarea erodibilității solului.

Structura solului descrie configurația fizică a solului. Structura solului este definită ca aranjamentul 3D al particulelor primare în sol, adică modul în care sunt situate și conectate între ele particulele primare. Factorii determinanți pentru structura solului includ textura sa și conținutul de material organic.

Coeficientul de corelație între codul de structură a solului bazat pe descrierea profilului și pierderile de sol, după [186], este egal cu 0,23.

În nomograma erodibilității de [188], structura solului, codificată între 1 și 4, a fost unul dintre cinci factori necesari pentru prezicerea valorile factorului K din USLE (Figura 3.10).

Umiditatea sau conținutul în apă al solului, este cantitatea de apă care se află legată în mod fizic de particulele de sol. Umiditatea solului depinde de climă, natura suprafeței și panta terenului, modul de acoperire a terenului, structura și textura solului etc. Doar o slabă corelație negativă între valorile factorului K din USLE și conținutul antecedent de apă se găsește [186].

3.1.4. Factorul acoperirii terenurilor

Acoperirea terenurilor reprezintă un factor important pentru studierea proceselor erozionale, dat fiind faptul că aceasta condiționează gradul de protecție a solului, mai ales prin tipul covorului vegetal și prin rata de restabilire a acestuia.

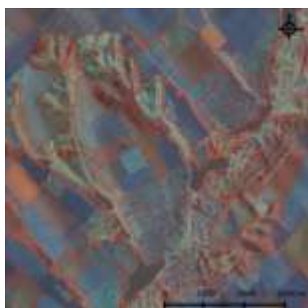
Teledetecția este pe larg utilizată pentru monitorizarea și cartarea stării eco- și geosistemelor la nivelul întregii planete. Covorul vegetal este unul dintre indicatorii biofizici cei mai importanți pentru eroziunea solului. Acoperirea cu vegetație poate fi estimată utilizând indicii de vegetație derivați din analiza imaginilor satelitare. Indicii de vegetație permit de a delinea distribuția vegetației și a solului în baza caracteristicilor privind structura reflectanței suprafeței terestre (a vegetației verzi).

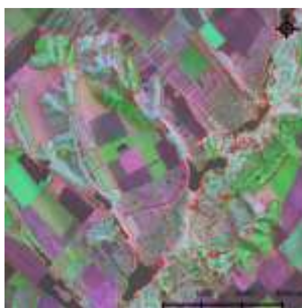
Benzile spectrale ale imaginilor satelitare Landsat

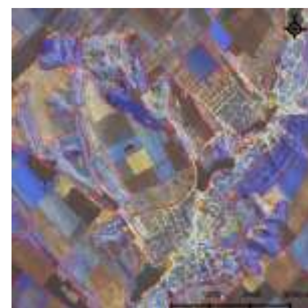
Imaginile Landsat sunt imagini multispectrale compuse din 7 benzi, fiecare dintre acestea reprezentând câte o porțiune a spectrului electromagnetic. În baza acestor 7 benzi pot fi realizate combinații RGB (roșu/verde/albastru) din câte 3 benzi, fiecare dintre aceste combinații oferind informații specifice. Benzile spectrale ale imaginilor Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper) au următoarele lungimi de undă: Banda 1 (0,45-0,52 μm, albastru-verde), Banda 2 (0,52-0,60 μm, verde), Banda 3 (0,63-0,69 μm, roșu), Banda 4 (0,76-0,90 μm, infraroșu apropiat), Banda 5 (1,55-1,75 μm, infraroșu mijlociu), Banda 6 (10,40-12,50 μm, infraroșu termal), Banda 7 (2,08-2,35 μm infraroșu mijlociu).

Combinațiile comune ale benzilor spectrale Landsat

Benzile individuale pot fi asociate ca și combinații RGB de Roșu (Red), Verde (Green) și Albastru (Blue) pentru vizualizarea color a datelor. Existe mai multe combinații posibile fiecare cu avantaje și dezavantaje specifice. Combinațiile cele mai utilizate de benzi sunt cele prezentate în Figurile 3.11-3.15:


Fig. 3.11. Compozit 3,2,1 Landsat


Fig. 3.12. Compozit 4,3,2 Landsat


Fig. 3.13. Compozit 4,5,3 Landsat

În cazul în care utilizăm alte imagini de teledetecție cum ar fi: ASTER, SPOT etc. formula trebuie adaptată, în acest caz numerotarea benzilor spectrale se modifică.


Fig. 3.14. Compozit 5,4,1 Landsat


Fig. 3.15. Compozit 7,4,2 Landsat

Indicii de vegetație

a. NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

Formula exprimă diferențierea signaturilor spectrale la limita vizibilului (roșu) cu infraroșul (infraroșul apropiat), indicele NDVI fiind definit prin următoarea ecuație:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \tag{3.51}$$

Unde: NDVI – indicele normalizat de diferențiere al vegetației, NIR – Banda spectrală infraroșu apropiat (Near Infra Red – banda 4 Landsat TM) Red – Banda spectrală roșu (vizibil, Red – banda 3 Landsat TM).

Formula aplicabilă imaginilor Landsat TM, este bazată pe utilizarea benzilor spectrale (4, reprezentând infraroșul apropiat, și 3 - roșul), din care rezultă posibilitatea cuantificării la nivel de pixel a valorilor NDVI între -1 și 1, ce reprezintă de fapt consistența vegetației verzi (gradul de dezvoltare), astfel valoarea 1 reprezintă consistența maximă a vegetației ce este specifică pădurilor de foioase dense, valoarea 0 este atribuită terenurilor cu pajiști, cu vegetație redusă, în timp ce minima de -1 reprezintă terenul lipsit de vegetație, unde roca sau solul apar la zi, această

valoare se înregistrează în arealul terenurilor proaspăt arate. Valorile cuprinse între 0,2 și 0,8 indică vegetația verde [111, 99].

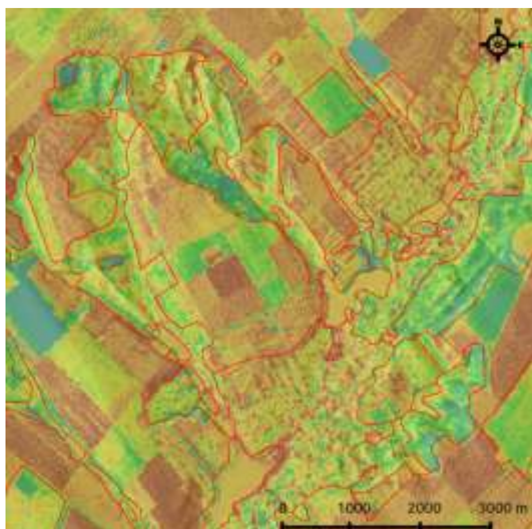


Fig. 3.16. NDVI

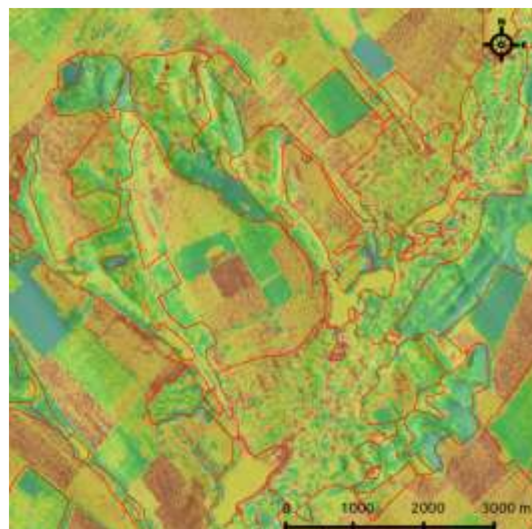


Fig. 3.17. SRI

Datorita limitării rezoluției spațiale la 30 m a imaginilor Landsat multispectrale, aceste limite sunt greu de atins, deoarece determinarea NDVI se realizează la nivel de pixel, ceea ce semnifică o eterogenitate evidentă a terenului ce corespunde celulei.

Indicele NDVI a fost utilizat pe larg în studii de teledetecție de la apariția sa [99]. Este utilizat pentru un mare număr de proprietăți ale vegetației, acesta ajută la calcularea indexului suprafeței ocupate de frunze, concentrației de clorofilă din frunze, productivității plantelor, fracției de acoperire cu vegetație și cantității de apă acumulată în plante.

Acest indice a influențat apariția unui număr de peste 20 de alți indici alternativi și derivați, așa cum sunt: Indicele Sol-Vegetație Ajustat, Indicele de Vegetație Perpendicular, Indicele de Rezistență Atmosferică a Vegetației, etc.

b. Simple Ratio Index

$$SR = \frac{NIR}{RED} = \frac{B4}{B3} \tag{3.52}$$

Valorile pentru SRI variază între 0 și mai mult de 30. Intervalul comun pentru vegetație este 2-8.

c. Enhanced Vegetation Index

$$EVI = 2{,}5\left(\frac{NIR - RED}{NIR + 6 \times RED - 7{,}5 \times BLUE + 1}\right) = 2{,}5\left(\frac{B4 - B3}{B4 + 6 \times B3 - 7{,}5 \times B1 + 1}\right) \tag{3.53}$$

Valorile pentru EVI variază între -1 și 1. Intervalul obișnuit pentru vegetație este cuprins între 0,2 și 0,8.



Fig. 3.18. EVI

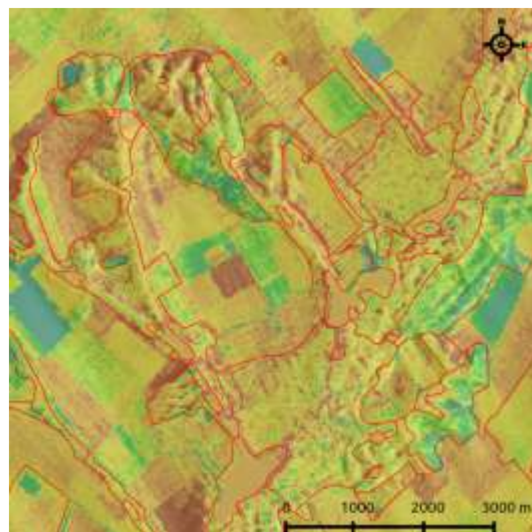


Fig. 3.19. ARVI

d. Atmospherically Resistant Vegetation Index

(3.54)

$$ARVI = \frac{NIR - (2 \times RED - BLUE)}{NIR + (2 \times RED - BLUE)} = \frac{B4 - (2 \times B3 - B1)}{B4 + (2 \times B3 - B1)}$$

Valorile pentru ARVI variază între -1 și 1. Intervalul obișnuit pentru vegetație este cuprins între 0,2 și 0,8.

3.1.5. Factorul practicilor agricole protective

Dintre cei șase factori de intrare pentru USLE/RUSLE [188], valorile factorului practicilor protective (P) sunt considerate a fi cele mai incerte [131].

Factorul P reprezintă practicile de control, care au menirea să reducă potențialul eroziv al scurgerii, influențând structura rețelei de drenaj, modul de concentrare a scurgerii, viteza de scurgere și forțele hidraulice exercitate de apă pe suprafața solului [147]. Factorul P este o expresie a efectului cumulat al practicilor de conservare a solului ca: arătura pe contur, cultivarea în benzi, terasarea și drenajul de sub-suprafață, asupra pierderilor de sol.

Valorile factorului P descresc atunci când se aplică aceste practici, dat fiind că, astfel, are loc reducerea volumului și vitezei scurgerii și încurajarea depunerii sedimentelor pe sectoarele superioare ale versanților. Cu cât valorile lui P sunt mai mici, cu atât sunt mai eficiente practicile antierozionale. Controlul antropic al eroziunii este un factor important, care trebuie să se regăsească în cadrul cercetărilor asupra riscului eroziunii.

Valorile factorului P pot fi deduse fie prin clasificarea datelor de teledetecție, fie din studii anterioare, fie prin aplicarea cunoștințelor expert. Autorii [103] au cartat obiecte precum: terasele, drumurile etc., utilizând **analiza orientată pe obiect** a imaginilor satelitare, alocând valori pentru P în baza cunoștințelor expert.

O altă abordare este de a utiliza softuri destinate fotointerpretării imaginilor satelitare și **filtre** speciale, precum IMAGE 2006 și Sobel, pentru identificarea obstacolelor fizice care pot reduce viteza și volumul scurgerii [139]. Clasificarea imaginilor satelitare solicită date de teledetecție de mare rezoluție și anumite rezultate experimentale.

Literatura de specialitate raportează tabele și formule care se vor folosi la identificarea valorilor factorului P pentru diferite practice de conservare și adaptate la diferite context spațiale [188, 147]. Valorile tipice variază între aproximativ 0,2, pentru terase de versant cu podul cu pantă inversă, până la 1,0, în cazul lipsei practicilor de control al eroziunii [188]. Eficacitatea practicilor de protecție este estimată în urma unor studii pe parcele și aplicată la nivel de bazine mici. În cazul unor suprafețe largi acest lucru este mult mai greu de realizat.

O abordare alternativă pentru aproximarea factorului P se bazează pe ecuații empirice. Spre exemplu, metoda Wener acceptă că factorul P este legat de caracteristicile topografice. Această metodă utilizează gradientul de pantă (%) ca date de intrare [85, 170].

La nivel european, efectul practicilor de conservare asupra pierderilor de sol a fost estimate luând în considerație: cultura în lungul curbelor de nivel, amenajarea zidurilor de piatră și a fâșiilor de iarbă de hotar. Factorul P este, astfel, un produs a trei sub-factori [44, 113]:

(3.55)

$$P = P_c \times P_{sw} \times P_{gm}$$

Unde: P_c - sub-factorul culturii în lungul curbelor de nivel; P_{sw} - sub-factorul zidurilor de piatră (al teraselor); P_{gm} - sub-factorul fâșiilor de iarbă de hotar (al culturii în bandă sau a fâșiilor tampon).

Tab. 3.4. Valoarea P pentru sub-factorul culturii în lungul curbelor de nivel

Panta (%)	**Panta (grade)**	**Valoarea sub-factorului culturii în lungul curbelor de nivel (P_c)**
9-12	5-7	0,6
13-16	7-9	0,7
17-20	9-11	0,8
21-25	11-14	0,9
>25	>14	0,95

Sub-factorul culturii în lungul curbelor de nivel se aplică doar terenurilor agricole (Tabel 3.4). Prin cultura în lungul curbelor de nivel se înțelege aplicarea lucrărilor de câmp (arat,

semănat, cultivat) în lungul curbelor de nivel al reliefului, adică perpendicular pe direcția de scurgere. Cultivarea în lungul curbelor de nivel reduce viteza scurgerii prin creșterea rugozității de suprafață, determinând, astfel, creșterea volumului de apă infiltrat [166]. Eficiența acestei practici, în ceea ce privește reducerea eroziunii solului, depinde de panta versantului (Tabel 3.4).

Sub-factorul zidurilor de piatră (al teraselor) incorporează efectul amenajării zidurilor de piatră în regiunile deluroase pentru reducerea vitezei scurgerii de suprafață și, în consecință, a eroziunii, prin reducerea lungimii versanților [131]. Panta poate fi redusă prin formarea de terase.

Fâșiile de iarbă de hotar se consideră drept una dintre cele mai importante măsuri utilizate pentru reducerea aportului de sedimente. Haturile înierbate împiedică scurgerea, sporesc infiltrația, captează sedimentele și reduc transportul de sedimente. Rezultatele experimentale arată că haturile înierbate pot capta între 10-30 % din aportul de sedimente [95], adică aproximativ jumătate din cantitatea captată de ziduri și, în dependență de densitatea vegetației, constituie 0,66-0,85 [139].

3.2. Date de intrare pentru modelare

Evaluarea hazardului eroziunii prin apă pe un teritoriu mare invocă alegerea unei abordări adecvate (tip de model) și a unor parametri relevanți. Procesele erozionale sunt consecință a interacțiunii a numeroși factori și agenți, de aceea modelarea proceselor erozionale este dificilă, dat fiind complexitatea interacțiunilor dintre aceștia. Principalii factori se consideră a fi: acoperirea terenurilor, solul, relieful și clima.

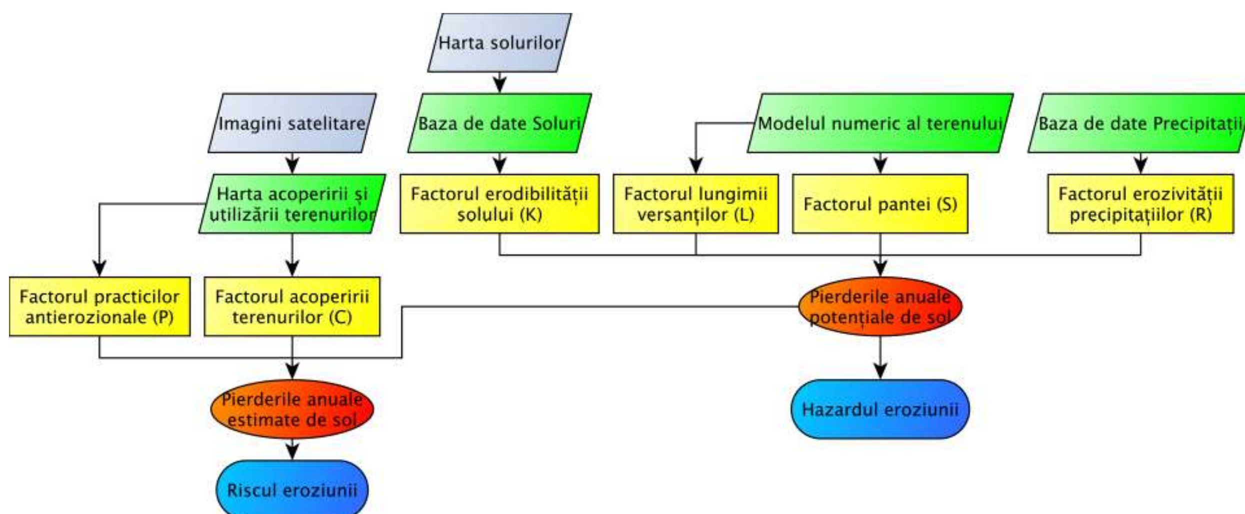


Fig. 3.20. Schema conceptuală a intrărilor (surselor de date) pentru modelare

Structura conceptuală a oricărui model privind eroziunea este similară cu schema din Figura 3.20.

Au fost utilizate informații cartografice disponibile cum ar fi: modelul digital al reliefului, harta solurilor, harta acoperirii/utilizării terenurilor, pluviogramele precipitațiilor atmosferice pentru sezonul cald (aprilie-octombrie) ș.a.

3.2.1. Datele asupra precipitațiilor atmosferice

Precipitațiile reprezintă principalul factor pentru eroziune și efectul lor eroziv este legat de cantitatea, intensitatea și alte caracteristici ale lor. În studiu au fost utilizate datele referitoare la precipitațiile atmosferice din sezonul cald (aprilie-octombrie) pentru perioada 1993-2016 (1984-2016, pentru stația Chișinău), cu o rezoluție temporală de 10 min, în baza cărora a fost realizate hărțile erozivității precipitațiilor (după datele Serviciului Hidrometeorologic de Stat al Republicii Moldova). Am ales să efectuăm calculele pentru toate stațiile de pe teritoriului Republicii Moldova pentru care am dispus de date, pentru ca să avem posibilitatea spațializării rezultatelor, chiar dacă doar trei stații (Briceni, Fălești și Cornești) se află în arealul studiat.

Precipitațiile sunt legate, pe parcursul anului, în special, de activitatea ciclonală; vara însă, un rol important îl joacă și precipitațiile convective. În perioada caldă a anului predomină precipitațiile sub formă de aversă [30].

Pentru cele 15 stații meteorologice luate în studiu, numărul de ani pentru care dispunem de date variază între 14 (Briceni) și 33 (Chișinău) cu o medie de 21,9 ani. Pentru toate stațiile, cu excepția stației Chișinău, șirul de date cuprinde intervalul 1993-2016 (Figura 3.21).

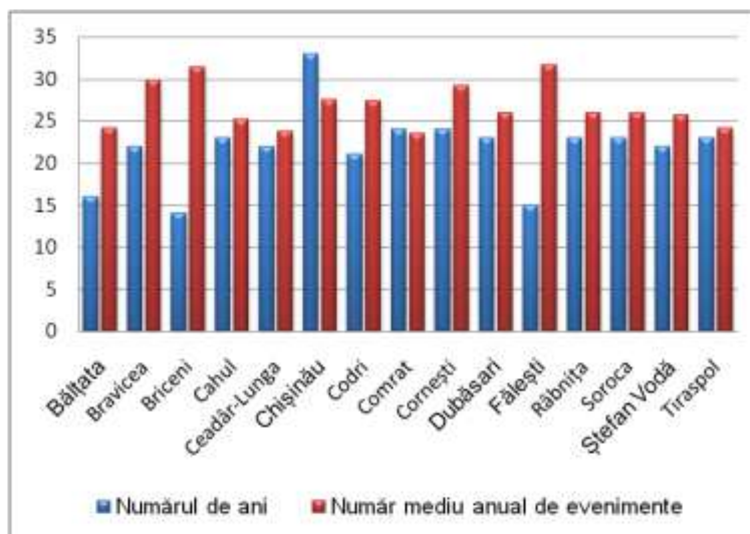


Fig. 3.21. Distribuția pe stații și ani a evenimentelor erozive

În aspectul distribuției spațiale, se poate observa o creștere a cantității de precipitații spre NV, odată cu creșterea altitudinii [30]. Precipitațiile înregistrate în sezonul cald constituie 45-59% din cantitatea anuală de precipitații.

Pentru perioada 1984-2016, numărul mediu de evenimente este de 26,7, variind între 24 (Ceadâr-Lunga) și 32 (Fălești). Stațiile din sud și estul Republicii Moldova înregistrează cele mai puține evenimente pluviometrice (24-25), comparativ cu cele din nord și vest (31-32). Durata medie a evenimentelor erozive în sezonul cald variază între 70 ore (la Tiraspol) și 125 ore (la Briceni, Fălești).

Numărul de evenimente erosive pe lună pentru perioada luată în calcul a variat între 30-40 în aprilie și octombrie și peste 120 în iunie și iulie.

În perioada 1993-2016, numărul mediu anual de evenimente pluviometrice pentru sezonul cald este de 26,7, variind între 24 (Ceadâr-Lunga) și 32 (Fălești) evenimente). Stațiile din sudul și estul Republicii Moldova înregistrează cel mai mic număr de evenimente pluviometrice (24-25 pe sezonul cald), comparativ cu cele din nord și vest (până la 31-32).

Durata medie anuală a evenimentelor pluviometrice din sezonul cald variază între 70 ore la Tiraspol și 125 ore la Briceni și Fălești. Durata precipitațiilor scade de la nord și vest către sud și est (Figura 3.22).

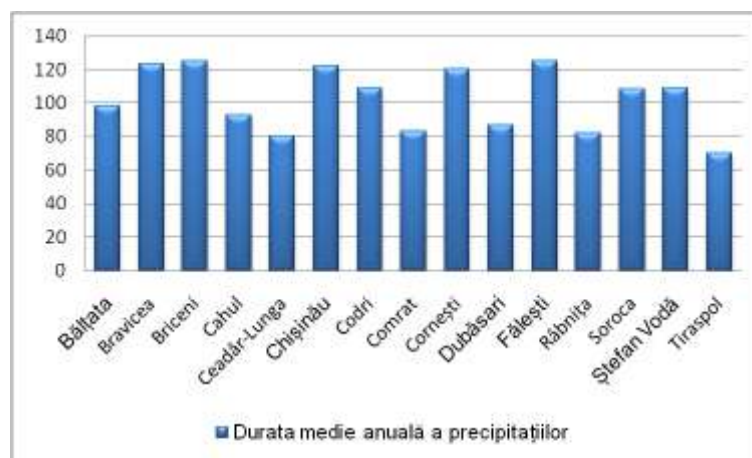


Fig. 3.22. Durata medie anuală (ore) a precipitațiilor (aprilie-octombrie)

În ceea ce privește distribuția spațială se observă creșterea cantității de precipitații spre nord-vest și odată cu creșterea altitudinii [30]. Valori maxime ale cantității de precipitații se înregistrează în Podișul Moldovei de Nord, Podișul Nistrului și Podișul Codrilor, unde se înregistrează peste 550 mm anual. În aceleași regiuni, pe parcursul sezonului cald se înregistrează peste 300 mm anual.

Precipitațiile căzute în sezonul cald constituie 45-59% din cantitatea anuală de precipitații, observându-se o scădere a ponderii acestora de la vest spre est (Figura 3.23).

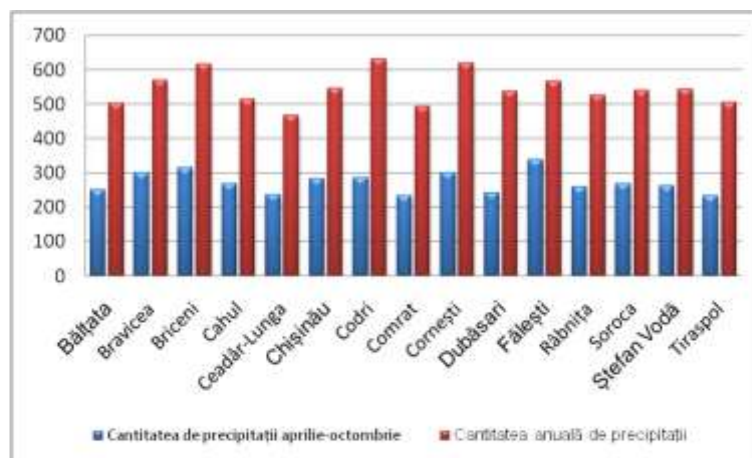


Fig. 3.23. Distribuția pe stații a cantității de precipitații

Corelația dintre cantitatea anuală de precipitații și cantitatea de precipitații căzute în sezonul cald este reprezentată de o funcție de putere care prezice destul de bine (R^2=0,619) cantitatea de precipitații căzute în sezonul cald reieșind din valorile anuale ale precipitațiilor (Figura 3.24).

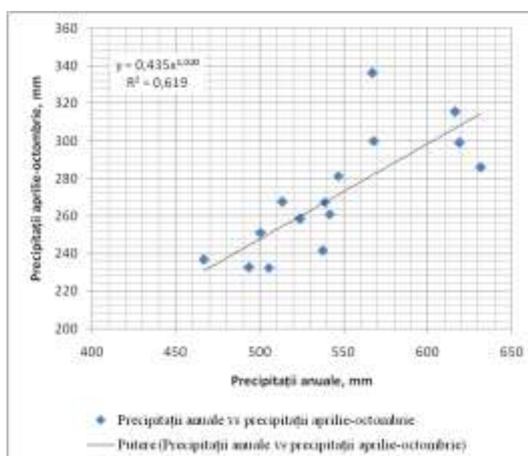


Fig 3.24. Corelația dintre cantitatea anuală de precipitații și cantitatea de precipitații pe sezonul cald al anului

Intensitatea medie a precipitațiilor variază pentru stațiile și perioada de observație între 3,8 și 7,6 mm/oră. Dintre cele 15 stații, valorile cele mai mari ale intensității se înregistrează la stațiile Tiraspol, Codri și Ceadâr-Lunga (6,3-7,6 mm/h), iar cele mai mici la Bălțata, Chișinău, Ștefan Vodă (3,8-4,1 mm/h) (Figura 3.25).

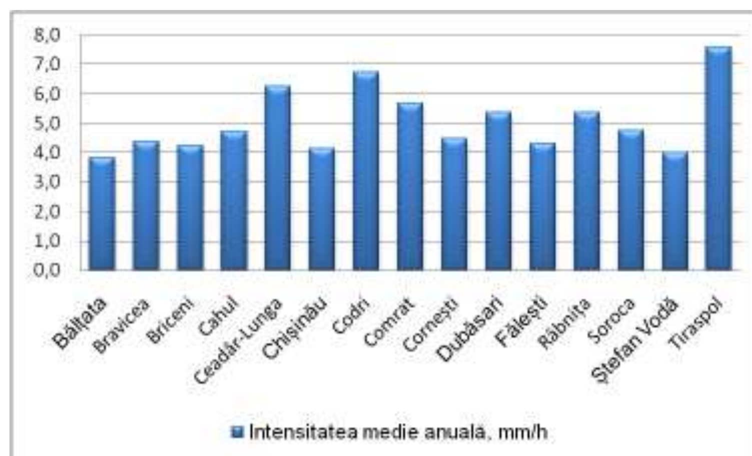


Fig. 3.25. Intensitatea medie a precipitațiilor pentru sezonul cald (1993-2016)

Șirul de date pluviometrice inițial reprezintă valori cumulative cu intervale de 10 min. Din acestea au fost calculate caracteristice energetice ale precipitațiilor (evenimente unice) și valorile medii, apoi au fost determinate valorile erozivității precipitațiilor.

3.2.2. Modelul numeric altitudinal al terenului

Modelarea terenului a devenit o componentă importantă a aplicațiilor geomorfologice, hidrologice, climatologice ș.a. Mai mult, în ultimul timp aceasta capătă o importanță din ce în ce mai mare și în alte domenii de activitate (amenajarea teritoriului, construcții etc.).

De obicei, reprezentarea reliefului se face sub forma unui câmp de altitudini continui, cunoscute în fiecare dintre nodurile unui caroiaj regulat, cunoscut sub denumirea de Model Numeric Altitudinal al Terenului (MNAT), folosind pentru reprezentare pixelul de diferite dimensiuni.

Deși tehnologiile bazate pe tehnologii precum LiDAR (Light Detection and Ranging) pot conduce la obținerea de MNAT-uri cu o precizie verticală excelentă, totuși utilizarea lor pentru acoperirea unor zone întinse este limitată.

Modelul Numeric Altitudinal pentru zona de studiu a fost realizat prin interpolarea informațiilor altitudinale din stereo-ortofotoplanuri. Setul de date punctiforme a fost interpolat în vederea validării. Erorile au fost puse în evidență prin vizualizarea directă a modelului obținut sau prin derivarea unor produse gen: pante, expoziție, curbură în profil, curbură în plan și umbrire. După corectură s-a trecut la rasterizarea setului de date, utilizând mai multe metode de interpolare. Modelele Numerice Altitudinale obținute prin metode diferite au fost comparate, iar în final metoda *Regularized spline with tension* (implementată în GRASS GIS) a fost considerată cea mai potrivită pentru setul de date utilizat.

Interpolarea datelor prin metoda *Regularized spline with tension* s-a realizat prin utilizarea modulului **v.surf.rst** din programul GRASS GIS. Modelul obținut are o rezoluție spațială (dimensiunea celulei) de 10 de metri.

3.2.3. Harta Solurilor

Solul este un factor major pentru desfășurarea eroziunii, dat fiind că spălarea particulelor de sol depinde direct de proprietățile solului. Am folosit Harta solurilor Republicii Moldova la scara 1:200.000, realizată în cadrul Institutului de Geografie (în prezent IEG) al AȘM și digitizată în Laboratorul Geografia Peisajelor al Institutului de Ecologie și Geografie. În baza acesteia a fost realizat stratul informațional al texturii solurilor, evidențiind următoarele clase: 1 – luncile râurilor și spațiul construit, 2 – solurile luto-nisipoase, nisipoase și nisipo-lutoase, 3 – solurile mediu lutoase, 4 – solurile luto-argiloase, 5 – solurile argiloase și 6 – terenurile degradate, inclusiv de alunecări de teren, susceptibilitatea la eroziune crescând de la clasa 1 la clasa 6.

3.2.4. Harta acoperirii/utilizării terenurilor

Baza de date a acoperirii/utilizării terenului la scara 1:50.000 pentru întreg teritoriul Republicii Moldova [18] a fost realizat prin interpretarea imaginilor satelitare Landsat (anul de achiziție 2004). Clasificarea inițială a categoriilor de acoperire a fost făcută în conformitate cu Sistemul FAO de Clasificare a Acoperirii Terenului (FAO LCCS). Datele sunt prezentate în format ESRI Shapefile. Pentru încadrarea datelor în studiul de față am reclasificat categoriile inițiale în 7 clase, listate în ordinea creșterii susceptibilității la eroziune: corpuri de apă și zone umede; păduri – prezentând o senzitivitate redusă la eroziune, mai puțin pe versanții abrupți; areale construite; pajiști – care protejează terenul și contribuie la infiltrație; terenuri ocupate de culturi multianuale, inclusiv vii și livezi, prezentând o situație similară cu prima categorie, doar puțin mai favorabilă; terenuri arabile, care rămân decopertate anumite perioade de timp de-a lungul anului și ca urmare sunt predispuse la eroziune; terenuri neacoperite cu vegetație.

3.3. Concluzii la capitolul 3

1) Modelarea eroziunii solului prin scurgere de suprafață este un proces laborios, solicitant de un volum considerabil de date de intrare, referitoare la: caracteristicile morfometrice ale reliefului, intensitatea și cantitatea precipitațiilor, acoperirea/utilizarea terenurilor și practicile antierozionale.

2) Energia cinetică a precipitațiilor determină erozivitatea inițială a precipitațiilor, iar lungimea și gradul de înclinare a versanților determină energia apei curgătoare – ca forțe erozive principale. Acestea conferă eroziunii caracterul de hazard. În cadrul modelului USLE, energia disponibilă pentru a disloca sedimente în timpul căderii precipitațiilor este egală cu produsul dintre cantitatea totală de energie cinetică (E) și intensitatea precipitațiilor (I).

3) În același timp, capacitatea solului de a se opune eroziunii (erodibilitatea), precum și tipul și gradul de acoperire a terenului și tehnicile agricole utilizate sunt condițiile (forțele) care se activează împotriva fenomenului eroziunii. Toate acestea împreună reprezintă starea de vulnerabilitate a solului.

4. ANALIZA REZULTATELOR MODELĂRII EROZIUNII ȘI DEPUNERII

4.1. Evaluarea riscului eroziunii solului

Definirea termenilor legați de problematica riscului este necesară, pentru a evita confuzii. Astfel, sensibilitatea solului la eroziune (erodibilitatea) depinde de proprietățile acestuia, care vor determina o capacitate mai mare sau mai mică de dislocare a particulelor.

Hazardul este un eveniment amenințător și reprezintă probabilitatea de apariție într-o anumită perioadă a unui potențial factor dăunător pentru om, pentru bunurile produse de acestea și pentru mediu.

Vulnerabilitatea reprezintă măsura în care un sistem poate fi afectat în urma impactului cu un hazard și cuprinde totalitatea condițiilor fizice, sociale, economice și de mediu care măresc susceptibilitatea sistemului respectiv. Vulnerabilitatea pune în evidență cât de mult sunt expuși omul și bunurile sale în fața diferitelor hazarduri și se exprimă pe o scară cuprinsă între 0 și 1, cifra 1 exprimând distrugerea totala a bunurilor și pierderile totale de vieți omenești din arealul aferent.

Riscul reprezintă nivelul probabil al pierderilor de vieți omenești, al numărului de răniți, al pagubelor aduse proprietăților și activităților economice de către un anumit fenomen natural sau grup de fenomene într-un anumit loc și într-o anumită perioadă. Conform Dicționarului Enciclopedic (1999), riscul reprezintă un pericol posibil, probabilitatea de a înfrunta o primejdie și/sau de a suferi o pagubă. Riscul se găsește la intersecția dintre hazard și vulnerabilitate.

Capacitatea de rezistență reprezintă totalitatea forțelor și a resurselor cu ajutorul cărora societatea poate să facă față unui hazard reușind să reducă nivelul riscului prin atenuarea efectelor negative. Capacitatea de rezistență creste atunci când se asigură dezvoltarea durabilă a regiunii respective, se iau măsuri preventive și se organizează sistemele de alarmare a populației.

Evaluarea hazardelor naturale oferă informații despre localizarea probabilă și severitatea fenomenelor naturale periculoase, precum și probabilitatea de a se manifesta într-o anumită perioadă de timp și într-un anumit loc [15].

4.1.1. Evaluarea riscului aplicând sisteme expert

Riscul la eroziune poate fi estimat utilizând abordarea bazată pe sistem expert (calitativă) sau cea bazată pe model (cantitativă) [91]. În ultima decadă au fost dezvoltate o serie de inițiative pentru evaluarea riscului la eroziune a solului la nivel de țară, la european și global.

Cele mai cunoscute metodologii de evaluare a riscului la eroziune sunt: CORINE, RIVM, GLASOD, EEA, USLE, PESERA ș.a [87, 88].

Cadrul DPSIR utilizat de Agenția Europeană de Mediu. În urma unor studii recente, comunitatea științifică a dezvoltat și extins conceptul DPSIR (***Driver, Pressure, State, Impact & Response***) pentru modificări de mediu [87]. Acest concept a avut ca scop principal transformarea modificărilor de mediu în informații ușor accesibile pentru factorii decizionali [91].

În ceea ce privește eroziunea, conceptul mai sus menționat asigură un lanț al cauzelor și efectelor determinate de această formă de degradare, care implică, evident și societatea în ansamblul ei. Atunci când se încearcă determinarea și cuantificarea tuturor acestor factori pentru fiecare caz în parte, într-o primă etapă se încearcă estimarea riscului.

Forțele determinante ale eroziunii sunt: populația umană, dezvoltarea terenurilor, turismul, agricultura, transportul, evenimentele naturale și schimbările climatice.

Factorii de presiune sunt: gradul și tipul de acoperire a terenului și modificările climatice. Factorii de presiune acționează ca niște indicatori care furnizează informații cu privire la *stadiul* (gradul) eroziunii și *impactul* modificărilor (directe sau indirecte) determinate de eroziune asupra unor anumite sisteme (de ex. caracteristicile solului, biodiversitatea etc.), la care societatea va *răspunde* printr-o serie de reguli, politici sau un anumit comportament (strategii de conservare) [91].

Observarea și măsurarea factorilor care influențează susceptibilitatea la apariția eroziunii (așa-numita abordare factorială) asigură o modalitate prin care sunt determinate și clasificate suprafețele cu risc la eroziune. Indicatorii de măsurare caracterizează, de regulă, condițiile climatice, solul, materialul parental, topografia etc. Poziționarea pe hartă a acestor indicatori are ca rezultat elaborarea hărților cu risc la eroziune. Avantajul principal al acestei metode o reprezintă integrarea rezultatelor SIG în aplicații la scară largă, deși precizia rezultatelor depinde de calitatea datelor [108]. Oricum, algoritmii utilizați pentru integrarea indicatorilor și măsurarea unor astfel de indicatori constituie lipsuri sau dezavantaje ale acestui tip de metodologii.

Acest tip de metodologie deduce riscul la eroziune din stadiul curent atins de această formă de degradare a solului într-un areal specific. Analizele de tip expert estimează riscul la eroziune direct din observațiile din teren și/sau imaginile satelitare și fotografiile aeriene. Caracteristici cum ar fi: extinderea și acoperirea aeriană a rigolelor, ravenelor și sedimentelor depozitate sunt parametri care asigură o indicație reală a nivelului eroziunii, pe lângă măsurătorile efectuate la nivel de parcelă pentru determinarea intensității eroziunii [45].

Pentru a deriva estimările riscului de apariție a eroziunii la scară națională, experții pot fi consultați prin intermediul chestionarelor. Aceasta constituie o metodă relativ rapidă și simplă, există însă, o oarecare subiectivitate în ceea ce privește răspunsurile științifice, deoarece starea eroziunii la un anumit moment nu reflectă neapărat riscul de apariție al eroziunii într-un anumit areal, existând totodată incertitudini legate de „când” și „de ce” această formă de degradare de manifestă [88].

Un exemplu al unei astfel de abordări de tip expert îl constituie GLASOD - Global Assessment of Soil Degradation, un proiect UNEP [137]. Harta GLASOD identifică arealele care sunt mai mult sau mai puțin degradate, independent de condițiile în care se produc diferite tipuri de degradare a solului. Este bazată pe răspunsurile la un chestionar trimis la experți recunoscuți în diferite țări și de aceea depinde în mare măsură de un set de analize de tip expert (Figura 4.1).

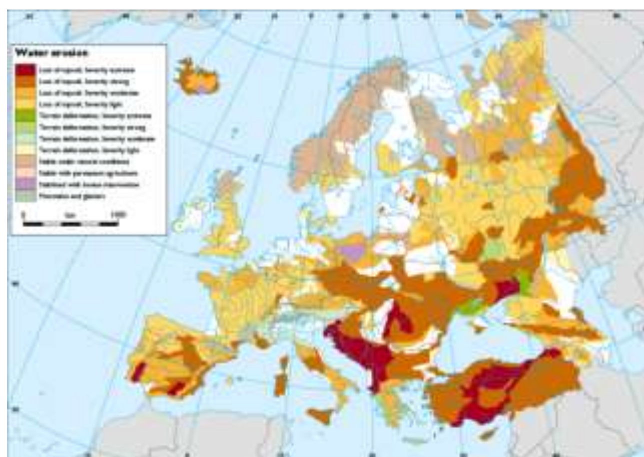


Fig. 4.1. Eroziunea hidrică a solului în Europa după abordarea GLASOD [87]

Harta GLASOD poate fi utilizată de către: factorii decizionali internaționali (UNEP, FAO etc.), factorii decizionali naționali, programele și convențiile internaționale (CCD, protocolul de la Kyoto, UN-CPB, IGBP), cercetători, la nivel național și internațional (NARI’s, CGIAR, universități), cadre didactice și studenți, organizații de mediu (conștientizarea publicului) etc. Dezavantaje utilizării hărții GLASOD sunt: scara mică, aprecierea experților (calitativă și potențial subiectivă), număr limitat de atribute, exagerarea vizuală (5 clase de intensitate în loc de %), legendă complexă, doar tipul dominant de degradare este reprezentat prin culoare etc.

Harta Europei de Vest care prezintă riscul la eroziune al solului [45] este un alt exemplu al unei astfel de abordări de tip expert. Harta a fost realizată de diferiți experți care au conturat arealele afectate de procese de eroziune. Reprezentarea spațială însă, a arealelor cu risc de apariție a proceselor de eroziune este mult prea generală pentru factorii decizionali.

Sisteme expert

Un sistem expert (SE) este o aplicație complexă (un program software) care explorează o multitudine de cunoștințe date pentru a obține concluzii noi despre activități dificil de examinat, folosind metode asemănătoare cu experții umani.

Analiza multi-criterială. Aplicarea Sistemelor Informaționale Geografice permite de a gestiona eficient informația și de a facilita integrarea a multiple strate de date cu variate procedee de analiză. Integrarea Analizei Riscului, utilizând Sistemele Informaționale Geografice, cu Evaluarea Multi-Criterială (MCE - Multi-Criteria Evaluation) și cu Analiza Ierarhiilor (AHP - Analytic Hierarchy Process) este, probabil, cea mai potrivită metodă de rezolvare a problemelor complexe privind: distribuția riscurilor naturale și antropice, utilizarea terenurilor, planificarea teritoriului etc.

Metoda de Integrare Liniară Ponderată (WLC, Weighted Linear Combination) a stratelor de hartă în cadrul AHP este o strategie de evaluare a problemelor privind luarea de decizii multi-criteriale.

Tehnica de Integrare Liniară Ponderată (WLC) aplică următoarea formulă:

(4.1)

$$E = \sum_{i=1}^{n} W_i \times V_i$$

Unde: W_i = importanța/ponderea relativă a factorilor/parametrilor; V_i - ponderea relativă a parametrilor i; n - numărul parametrilor.

Pentru a integra datele geografice și preferințele/cunoștințele factorilor de decizie într-o singură valoare, este utilizată metoda Analizei Ierarhiilor (AHP), metodă elaborată de [151]. Metoda Analizei Ierarhiilor (AHP - Analytic Hierarchy Process) este un instrument matematic de analiză sistemică a problemelor complexe de luare a deciziilor. AHP nu este în sine un instrument de luare a deciziilor „corecte”, permițând doar de a găsi, printre o multitudine de alternative, aceea soluție, care corespunde, în cea mai mare măsură, modului în care cercetătorul înțelege să rezolve problema în cauză.

Soluțiile de program implementate în SIG compară stratele de hartă două câte două și determină valorile ponderii fiecăruia. În acest fel factorii de decizie pot selecta rezultatul potrivit prin definirea unei ierarhii pentru o problemă complexă.

În această aplicație, analiza riscului eroziunii s-a realizat pentru zona de studiu. În primă fază, au fost calculate ponderile stratelor (factorilor/criteriilor) utilizând AHP, apoi a fost generată harta distribuției potențiale a riscului utilizând analiza WLC (Weighted Linear

Combination). În acest scop s-a aplicat extensia Easy AHP pentru programul QGIS [43]. Un studiu de caz privind aplicarea metodei poate fi găsită la Anexa 4.

4.1.2. Estimarea eroziunii prin abordare empirică

Bilanțul de sedimente este produsul final al eroziunii prin acțiunea apei și altor agenți modelatori. Volumul total de material erodat în cadrul unui bazin hidrografic constituie eroziunea brută sau totală. Din această cantitate doar o parte pătrunde însă în rețeaua hidrografică. O parte din material este depozitată la baza versanților sub formă de conuri de dejecție, sau în albiile majore ale râurilor sub formă de grinduri sau câmpuri de aluviuni. Cantitatea de material erodat transportat prin intermediul rețelei hidrografice este cunoscută drept scurgere solidă.

Evaluarea riscului eroziunii solului necesită cartografierea și analiza a numeroși factori care intervin în procesul erozional: agresivitatea precipitațiilor, panta și lungimea versanților, erodibilitatea solului, covorul vegetal și practicile agricole. Fiecare factor prezintă un comportament diferit de la o zonă la alta a regiunii. Prin urmare, se ajunge la o multitudine de date de cartografiat, stocat, structurat și tratat într-un mod rațional.

Majoritatea abordărilor empirice pentru estimarea ratei eroziunii sunt bazate pe următoarele metode [72]: 1) Ecuația Universală a Pierderilor de Sol (USLE) sau una dintre modificările sale [188]; 2) Calcularea producției de sedimente ca funcție de suprafața de recepție; 3) Calcularea producției de sedimente ca funcție a caracteristicilor scurgerii.

Modelarea empirică a eroziunii, în speță aplicarea modelului USLE, implică apariția unei serii de limitări intrinseci, care decurg din specificul modelului [149]:

- modelul este aplicabil doar eroziunii plane, nu și eroziunii liniare;
- modelul a fost testat pe teritorii de câmpie și deluroase cu pante de 1-20% (3,6-72^{o});
- relația dintre energia cinetică și intensitatea precipitațiilor utilizată în model este în general aplicabilă doar Marilor Câmpii din America de Nord;
- modelul este aplicabil doar pentru calcularea valorilor medii ale pierderilor de sol pentru intervale de peste 20 ani și nu este aplicabil unor evenimente unice (modelul MUSLE se descurcă în acest rol);
- neglijează unele interacțiuni dintre factori, astfel că este dificil de a distinge rolul fiecăruia dintre aceștia.

Modelul reprezintă o funcție multiplicativă a șase factori hidrici: agresivitatea climatică, erodibilitatea solului, panta și lungimea versanților, acoperirea terenului și practicile antierozionale:

(4.2)

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Unde: A - rata anuală a eroziunii solului, t ha^{-1} an^{-1}; R – factorul erozivității pluviale (factorul energetic), MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}; K – factorul erodibilității solului – depinde de granulometria solului, de cantitatea de materie organică în sol, de permeabilitatea și structura solului, t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}; LS – factorul relief, dependent de lungimea și înclinația versanților, adimensional; C – factorul cuverturii vegetale, adimensional; P – factorul tipului de tehnici antierozionale, adimensional.

Factorii R, K și C sunt, de obicei, determinați în cadrul cercetărilor în teren, de-a lungul a mai mulți ani, pentru a aprecia variațiile anuale ale climei, fapt pentru care, necesită investiții majore de timp și resurse [133].

Ecuațiile empirice sunt dezvoltate utilizând datele colectate din arii geografice specifice, de aceea utilizarea acestor ecuații se limitează la ariile date. Ca urmare, s-au făcut mai multe încercări de a modifica sau adapta modele precum USLE pentru a le ajusta la alte condiții decât partea centrală și estică a Statelor Unite, pentru care au fost create.

Aplicarea modelului USLE a necesitat evaluarea diferiților factori ai ecuației pentru toată suprafața Câmpiei Prutului de Mijloc și exprimarea lor sub formă de hărți tematice. Integrarea acestor hărți în QGIS cuplat cu GRASS GIS s-a realizat prin digitizarea hărților. Poligoanele obținute, pentru fiecare hartă, au asociate baze de date atributive proprii. Suprapunerea hărților s-a realizat utilizând Raster Map Calculator în GRASS GIS.

Printre cei 6 factori, erozivitatea precipitațiilor și factorul acoperirii terenurilor au o mare variabilitate în decursul anului. Astfel, datele referitoare la erozivitatea precipitațiilor combinate cu datele referitoare la covorul vegetal și practicile agricole pot servi pentru cercetarea eroziunii solului la diferite scări. Variațiile intra-anuale ale erozivității precipitațiilor afectează agricultura, silvicultura, managementul apelor și serviciile ecosistemice, astfel că, neglijarea variabilității intra-anuale a erozivității precipitațiilor poate cauza luări de decizii improprii [181, 140].

4.1.2.1. Agresivitatea precipitațiilor (erozivitatea pluvială - R)

Caracteristici ale precipitațiilor precum: frecvența, durata, cantitatea, intensitatea, și energia cinetică joacă roluri importante în eroziunea solului prin apă.

Factorul R din formula generală USLE/RUSLE este recunoscut [148, 147], ca fiind unul dintre cei mai pretabili parametri pentru predicția potențialului eroziv al picăturilor de ploaie și, respectiv, a capacității potențiale de transport a scurgerii generate de aversele de ploaie [64]. La nivel regional, datele asupra erozivității climatice, pot fi utilizate drept indicator al riscului potențial al eroziunii [131]. Factorul R nu ia în calcul și pierderile de sol datorate topirii zăpezii, gheții sau acțiunii vântului.

Adesea, singurele date **liber disponibile** asupra precipitațiilor sunt mediile lunare și anuale. Unii autori [39] au dezvoltat formule alternative care nu implică în calcul decât precipitațiile medii lunare și/sau anuale pentru determinarea factorului R.

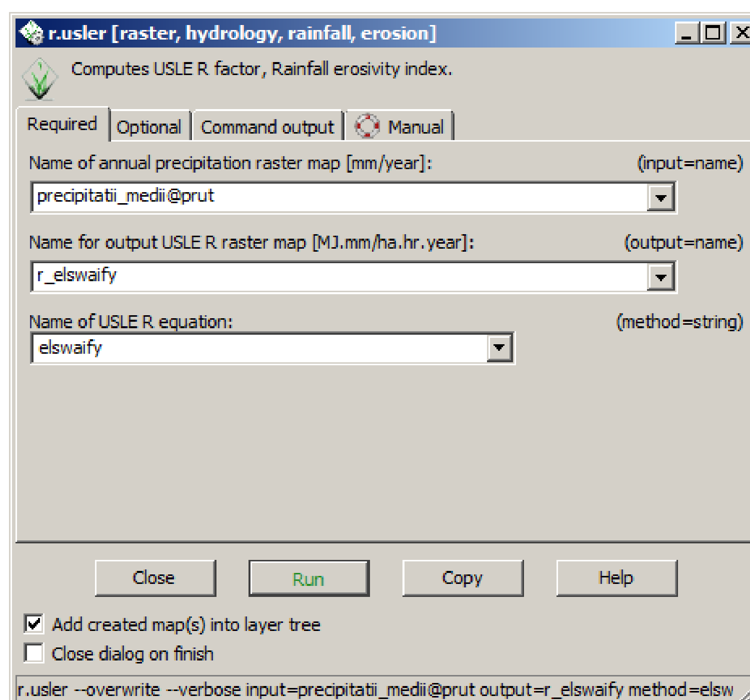


Fig. 4.2. Interfața grafică a modulului **r.usler**

Deși există studii care vizează determinarea acestui factor pornind de la valorile de precipitații, fie medii anuale, fie lunare, trebuie de remarcat faptul că, valoarea acestui factor se poate calcula cu precizie maximă doar experimental, pe parcele amenajate și se aplică la regiuni mai extinse, omogene din punct de vedere climatic.

În absența acestor măsurători, pentru calcularea rasterului/hărții factorului R s-a utilizat modulul ***r.usler***, implementat în GRASS GIS 7.x [117]. Acest modul are implementate 4 ecuații de calcul pentru factorul R: Roose (1975), Morgan (1974), Foster (1981) și El-Swaify (1985). Predefinită este metoda Morgan (1974) (Figura 4.2).

Pentru datele de precipitații s-a utilizat rasterul cantității medii anuale de precipitații. Utilizând modulul ***r.usler***, s-au calculat hărțile factorului R prin toate cele 4 metode predefinite.

Distribuția valorilor factorului R obținute prin utilizarea celor 4 metode sunt reprezentate grafic în Figura 4.3. După cum se poate observa, există diferențe destul de mari în ceea ce privește mărimea rezultatelor, postându-se în același timp amplitudinea și forma distribuției.

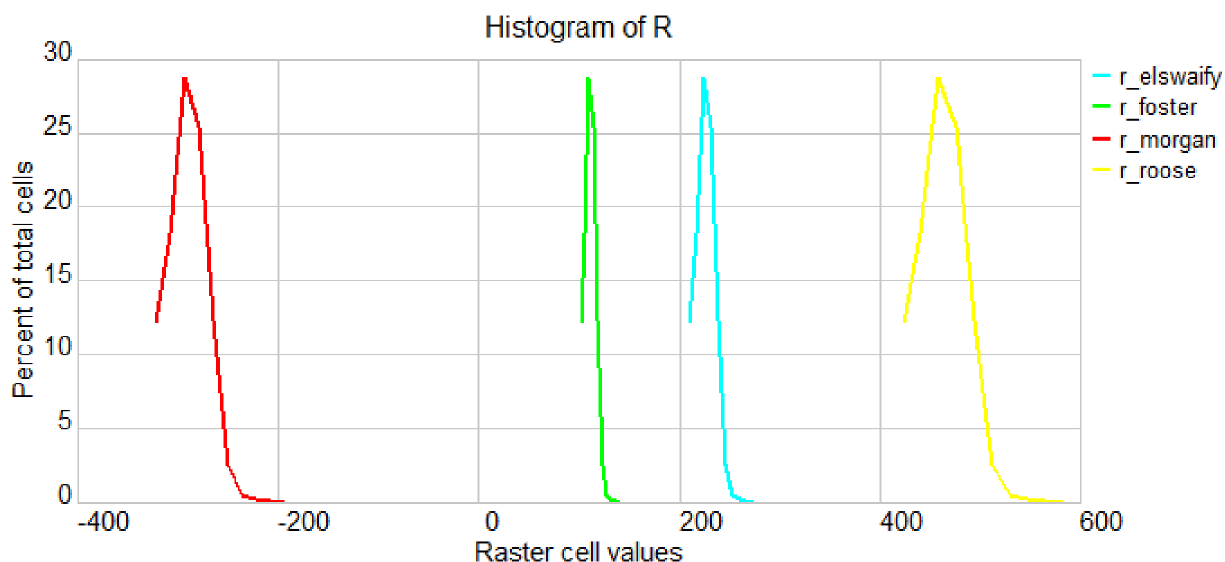


Fig. 4.3. Histograma valorilor R - după diferite metode

Hărțile distribuției valorilor factorului R (calculat prin metodele: Roose, 1975; Foster, 1981 și El-Swaify, 1985) se găsesc la Anexele 6.1, 6.2 și 6.3.

Comparând valorile obținute cu datele de literatură [140, 141] putem constata abateri semnificative ale datelor obținute de noi față de rezultatele publicate. Mai mult de atât, unele formule de calcul, precum cea a lui Morgan nu se pretează la cantitatea de precipitații specifică teritoriului Republicii Moldova. Din aceste considerente, erozivitatea precipitațiilor a fost calculată în baza **datelor pluviometrice** înregistrate la 15 stații meteorologice de pe teritoriul Republicii Moldova în perioada 1984-2016. Datele de precipitații sunt descrise la punctul 3.2.1.

Odată ce datele referitoare la precipitații au fost colectate, estimarea factorului R a inclus următorii 2 pași: a) calcularea valorilor factorului R pentru fiecare stație meteorologică, b) spațializarea (interpolarea spațială) valorilor factorului R.

a) Calcularea indicelui erozivității precipitațiilor

Modelul RUSLE utilizează abordarea [49] pentru calcularea valorii medii anuale a erozivității precipitațiilor, R (MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}) [147].

b) Spațializarea rezultatelor

Dat fiind densitatea mică a observațiilor, interpolarea valorilor erozivității nu se poate aștepta să producă rezultate realistice. În schimb, am utilizat metoda regresiei pentru estimarea distribuției erozivității precipitațiilor în dependență de distribuția unor variabile independente, precum altitudinea reliefului, latitudinea și longitudinea geografică.

Ecuația de regresie multiplă are forma:

(4.3)

$$R_{ave} = 9150,75 - 0,33 \times Elev - 40,42 \times Lat - 221,82 \times Long$$

Coeficientul de determinare: R^2=0,63

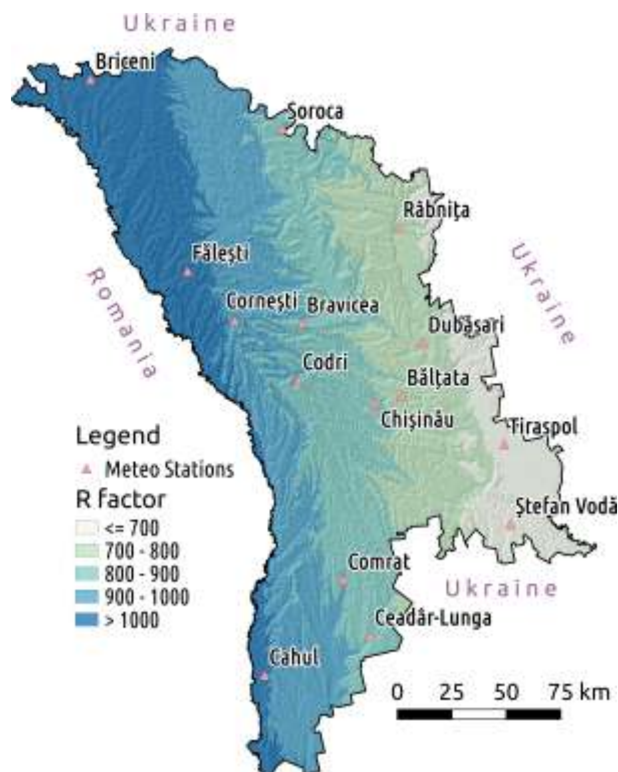


Fig. 4.4. Distribuția valorii medii anuale a erozivității precipitațiilor în Republica Moldova (MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1})

Variabilitatea relativ mare a condițiilor climatice pe teritoriul Republicii Moldova are ca rezultat un interval destul de mare a valorilor erozivității precipitațiilor; de la 572,4 (în SE) la 1259,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1} (în NV), cu o medie de 880,4 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1} (Figura 4.4).

Pentru Câmpia Prutului de Mijloc valorile erozivității precipitațiilor sunt cuprinse între 893,4 și 1161,5, la o medie de 1058,2 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}.

În aspect lunar precipitațiile atmosferice se caracterizează prin valori medii ale erozivității unui eveniment eroziv de 24,7. Valorile minime și maxime sunt egale cu 12,9 și, respectiv, și 51,6. Valorile absolute variază între 1,1 și 107,2 (MJ mm ha^{-1} h^{-1}) (Tabel 4.1).

Tab. 4.1. Valorile medii ale erozivității **unui eveniment** pluviometric

Stația	Aprilie	Mai	Iunie	Iulie	August	Septembrie	Octombrie	Noiembrie
Bălțata	1,7	10,6	48,2	36,3	57,4	25,1	11,0	
Bravicea	4,8	23,0	26,5	51,0	34,9	19,3	7,4	
Briceni	4,3	24,9	26,0	77,1	29,9	19,4	2,4	
Cahul	7,4	17,0	42,6	56,6	47,0	87,2	11,6	

Stația	Aprilie	Mai	Iunie	Iulie	August	Septembrie	Octombrie	Noiembrie
Ceadâr-Lunga	3,9	14,7	64,9	56,3	41,7	20,7	14,7	
Chișinău	9,0	22,0	28,9	39,3	38,2	30,6	11,9	
Codri	7,1	15,0	28,2	35,5	41,1	29,0	31,1	0,5
Comrat	8,7	14,7	60,9	52,2	42,6	25,4	6,6	
Cornești	8,1	16,9	50,0	41,9	28,4	21,0	17,4	
Dubăsari	5,4	16,5	21,5	37,3	33,4	19,3	3,3	
Fălești	4,8	22,3	30,2	47,0	47,7	46,9	5,1	9,0
Râbnița	8,3	15,5	36,8	45,7	47,7	32,2		
Soroca	3,8	15,1	24,4	42,3	107,2	26,1	5,8	
Ștefan Vodă	11,5	10,3	33,8	51,0	54,3	24,2	11,4	
Tiraspol	3,9	12,3	32,5	21,5	53,6	18,3	1,1	
Minima	1,7	10,3	21,5	21,5	28,4	18,3	1,1	0,5
Maxima	11,5	24,9	64,9	77,1	107,2	87,2	31,1	9
Media	6,2	16,7	37,0	46,1	47,0	29,6	10,1	4,8

Din literatura de specialitate reiese că există o bună corelație între cantitatea anuală de sol erodat și coeficientul distribuției anuale a precipitațiilor, cunoscut ca indicele Fournier [5]. Erozivitatea precipitațiilor poate fi astfel dedusă din acest indice sau din o variant a acestuia - indicele Fournier modificat [39] (Figurile 4.6 și 4.7).

Indicele Fournier este calculat din relația:

(4.4)

$$FI = \frac{p_{\max}^2}{P}$$

Unde: p_{max} – cantitatea de precipitații pentru luna cu maximum precipitații (mm); P – cantitatea anuală de precipitații (mm).

Indicele Fournier modificat este dat de expresia:

(4.5)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Unde: p_i – cantitatea de precipitații pentru luna ***i*** (mm); P - cantitatea anuală de precipitații (mm).

Regresia între erozivitatea precipitațiilor și indicele Fournier este:

(4.6)

$$R = 234,25 \times FI^{0,531}$$

Coeficientul de determinare: R^2=50,86%

Regresia între erozivitatea precipitațiilor și indicele Fournier modificat este:

(4.7)

$$R = 56,81 \times MFI^{0,69}$$

Coeficientul de determinare: R^2=27,04%

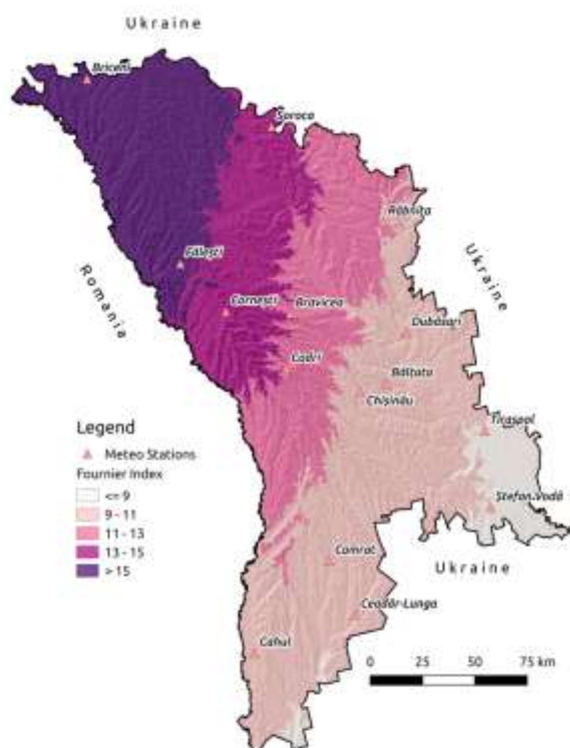


Fig. 4.5. Indicele Fournier

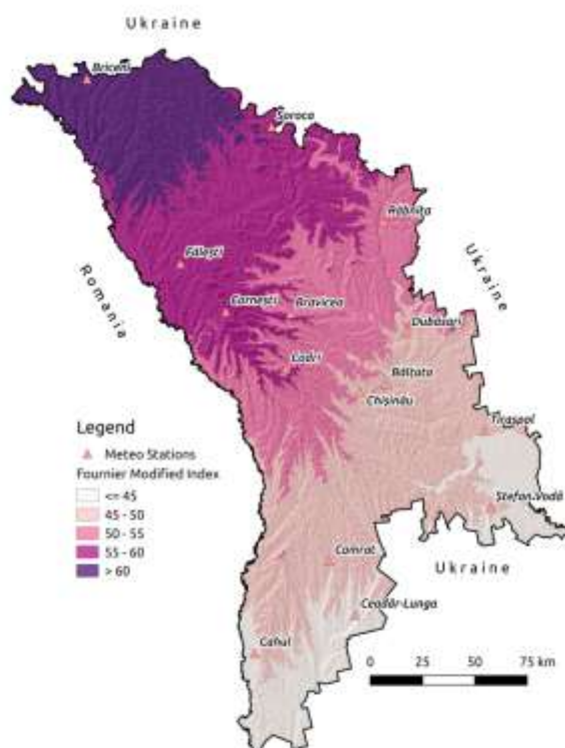


Fig. 4.6. Indicele Fournier Modificat

Regresia între erozivitatea precipitațiilor și cantitatea anuală de precipitații dă ecuația:

(4.8)

$$R = 5,82 \times P^{0,793}$$

Coeficientul de determinare: R^2=16,4%.

Statistica zonală realizată la nivel de raioane administrative ne scoate în evidență valori maxime ale erozivității precipitațiilor în raioanele Glodeni (1082,7 MJ mm ha^{-1} h^{-1}) și Râșcani (1079,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1}). Valorile prezentate în Tabelele 4.2 și 4.3 pot fi utilizate pentru calcularea valorilor medii ale pierderilor de sol în cadrul unităților teritoriale date.

Tab. 4.2. Valoarea medie a erozivității precipitațiilor pe raioane administrative

ID	Raion	R	StDev
1	Râșcani	1079,1	27,6
2	Glodeni	1082,7	33,3
3	Fălești	1051,6	32,5
4	Ungheni	1027,7	31,4

Statistica zonală realizată la nivel de bazine hidrografice ne relevă valori maxime ale erozivității precipitațiilor atinge valori maxime în bazinele Camenca (1081,0 MJ mm ha^{-1} h^{-1}), Căldărușa (1071,6 MJ mm ha^{-1} h^{-1}) și Ustia (1055,9 MJ mm ha^{-1} h^{-1}).

Tab. 4.3. Valoarea medie a erozivității precipitațiilor pe bazine hidrografice (vezi Figura 2.29)

ID	Bazine hidrografice	R	StDev
1	Delia	1007,0	26,8
2	Șoltoaia cu Vladnic	1024,9	23,2
3	Prut	1066,1	18,7
4	Gârla Mare	1034,5	21,5
5	Șovețul Mare	1047,2	18,9
6	Prut-Camenca	1118,0	23,0
7	Șovețul Mic (Ustia) cu Obreja	1055,9	20,3
8	Prut - Suta de Movile	1119,6	24,4
9	Căldărușa cu Glodeanca	1071,6	21,2
10	Camenca cu Camencuța	1081,0	21,8

Un studiu recent [141] asupra erozivității precipitațiilor realizat la nivelul Uniunii Europene găsește valori similare cu cele obținute de noi. Astfel, pentru teritoriul României, se obțin valori medii de 785,0, minime de 462,2 și maxime de 1150,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1}, inclusiv valori similare cu ale noastre pentru regiunile vecine de deal și podiș (Figura 4.8).

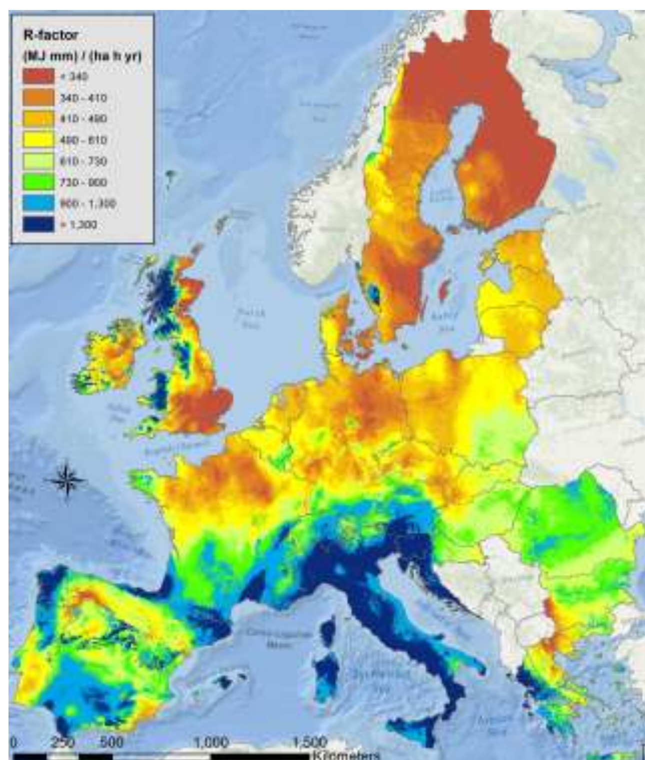


Fig. 4.7. Erozivitatea precipitațiilor în Europa [141]

Harta rezultată, a erozivității precipitațiilor, pe lângă utilizarea directă în estimarea volumului pierderilor de sol prin eroziune, poate fi utilizată de asemenea în studii privind

evaluarea expunerii teritoriului la alunecări de teren, inundații și alte fenomene naturale cu caracter de hazard.

4.1.2.2. Erodibilitatea solului (K)

Este factorul erodibilității solului – adică a capacității acestuia de a rezista/de a se supune eroziunii. Mărimea factorului K variază între 0-0,7. Cu cât mai mare este valoarea lui K, cu atât mai mică este infiltrația apei, deci, cu atât mai mare este predispoziția solului la eroziune. Se obține pe baza proprietăților intrinseci ale solurilor, precum textura, structura, conținutul de materie organică și măsoară rezistența solului la eroziune. Reprezintă rata eroziunii determinată experimental în condiții standard. Repetarea experimentelor în diferite condiții de sol a permis lui [188] de a dezvolta o ecuație de calcul a erodibilității solului:

(4.9)

$$K = \frac{2,1 \times M^{1,14} \times 10^{-4}(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)}{100}$$

Unde: M = (nisip + praf) (100 - argilă); a – ponderea materiei organice (%); b – codul structurii solului; c – codul permeabilității solului.

Pentru a transforma valoarea lui K din unități americane în unități SI se va utiliza un factor de conversie:

(4.10)

$$K_{SI} = 0,1317 \times K_{US}$$

Pentru a realiza harta factorului K s-au folosit datele de pe harta solurilor și harta depozitelor cuaternare la scara 1:200.000.

Mai mulți autori au propus ecuații care implică proporția de elemente grosiere la suprafață și au ajustat formula lui Wischmeier și Smith [188].

(4.11)

$$K_a = K \times \left(0,983 - 0,0189 \times X + 0,0000973 \times X^2\right)$$

Unde: X – procentul de elemente grosiere cu diametrul mai mare de 2 mm; K – factorul K calculat după formula lui Wischmeier și Smith (1978).

Textura solului. În general, particulele mineralelor care formează solul se pot divide în două fracții: fină (sub 2 mm Ø) și grosieră. Geologii utilizează scara phi atunci când se referă la dimensiunea particulelor, iar pedologii se referă la diametrul particulelor în *mm* sau μm.

Relația dintre dimensiunea particulelor și mineralogie. Fracția fină este compusă, în dependență de dimensiunea particulelor, din: nisip (sand, песок), praf/mâl/lut (silt, ил/пыль) și

argilă (clay, глина). Fiecare dintre aceste trei componente imprimă caracteristici proprii solului și posedă mineralogie distinctă (Tabel 4.4).

Tab. 4.4. Proprietăți generale ale nisipului, lutului și argilei [48]

Nr	Proprietatea	Nisip	Praf	Argilă
1	Dimensiuni (mm)	2,0-0,05	0,05-0,002	<0,002
2	Observații	Ochiul liber	Microscop optic	Microscop electronic
3	Minerale dominante	Primare	Primare și secundare	Predominant secundare
4	Atracția dintre particule	Slabă	Medie	Puternică
5	Atracția față de particulele de apă	Slabă	Medie	Puternică
6	Aria suprafeței	Foarte mică	Mică, către medie	Mare, către foarte mare
7	Capacitatea de retenție a apei	Mică	Medie, către mare	Foarte mare
8	Aerația	Bună	Medie	Slabă
9	Potențialul de compactizare	Mic	Mediu	Mare
10	Rezistența la schimbarea pH	Mică	Medie	Mare
11	Abilitatea de a reține chimicale și nutrienți	Foarte mică	Mică	Medie către mare
12	Susceptibilitate la eroziune prin vânt	Moderată (mai ales nisipul fin)	Mare	Mică
13	Susceptibilitate la eroziune prin apă	Mică (cu excepția nisipului fin)	Mare	Depinde de gradul de agregare
14	Consistența când este umed	Afânat, grăunțos	Neted	Lipicios, maleabil
15	Consistența când este uscat	Foarte afânat, grăunțos	Neted, ceva bulgări	Bulgări duri

Nisipul și cea mai mare parte a prafului/aleuritelor (silt) sunt compuși din minerale primare, iar argilele – din minerale secundare, formate ca urmare a alterării mineralelor primare [154]. Textura solului se referă la proporția relativă a nisipului (sand), prafului (silt) și argilei (clay) în componența fracției fine a solului.

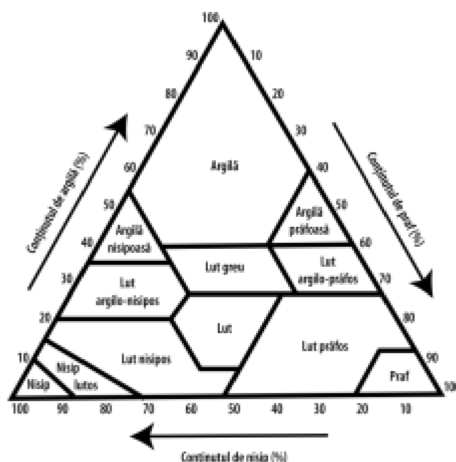


Fig. 4.8. Triunghi textural USDA

Textura solului poate fi determinată calitativ chiar în teren și cantitativ în laborator, prin determinarea ponderii fiecărei componente și construcția unei diagrame ternare (triunghi textural), care este cea mai simplă și eficientă metodă de determinare a texturii solului (Figura 4.9).

Tab. 4.5. Compoziția granulometrică medie (Ø în mm) a rocilor parentale în Rep. Moldova, % din solul uscat [20]

Roci	Nisip		Praf			Argilă	Argilă fizică
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Argile neogene	1	6	13	9	18	53	80
Luturi argiloase neogene	2	18	24	10	16	30	56
Argile eluvial-deluviale	0	12	24	10	16	38	64
Luturi argiloase eluvial-deluviale	5	21	20	9	15	30	54
Luturi eluvial-deluviale	10	35	20	6	9	20	35
Nisipuri eluvial-deluviale	33	51	7	4	3	2	9
Nisipuri lutoase eluvial-deluviale	21	46	14	2	5	12	19
Argile lutoase loessoidale	1	6	29	8	16	40	63
Luturi argiloase loessoidale	1	12	31	9	16	31	56
Luturi loessoidale	2	18	43	9	9	19	37
Luturi nisipoase loessoidale	5	32	37	5	9	12	26

Pentru calcularea factorului K s-a pornit de la harta solurilor la scara 1:200.000 în format vectorial, fiecărui tip de sol atribuindu-i-se valorile conținutului mediu de nisip, material prăfos și argilă, precum și de materie organică după datele din Tabelele 4.5 și 4.6. Aceste date au fost inserate în tabelul de atribute a hărții digitale a solurilor.

Tab. 4.6. Conținutul mediu de materie organică în stratul de 0-50 cm de la suprafață, la diferite tipuri și subtipuri de sol [20], *valori aproximate

Tipuri și subtipuri de sol	Etalon, %	Slab erodate		Moderat erodate		Puternic erodate	
		%	scădere	%	scădere	%	scădere
Cernoziom argiloiluvial	3,42	2,72*	21	1,99*	42	1,18	65
Cernoziom carbonatic	3,36	2,4	28	1,75	48	1,03	69
Cernoziom obișnuit	3,47	2,65	21	1,94	44	1,01	62
Cernoziom tipic	3,74	3,11	17	2,23	39	1,50	60
Cernoziom levigat	3,40	2,84	16	2,01	38	1,22	64
Cernoziom vertic	4,53	3,60*	21	2,63*	42	1,57	65
Sol cenușiu-închis de pădure	2,49	2,02	20	1,48	40	0,87	65
Sol cenușiu de pădure	1,82	1,55	16	1,35	25	0,72	60

Datele vectoriale au fost convertite în format raster, pentru a putea fi utilizate ca date de intrare pentru modulul ***r.uslek,*** implementat în GRASS GIS 7.x [53], utilizat pentru calcularea factorului erodibilității solului (K) din USLE (Figura 4.10).

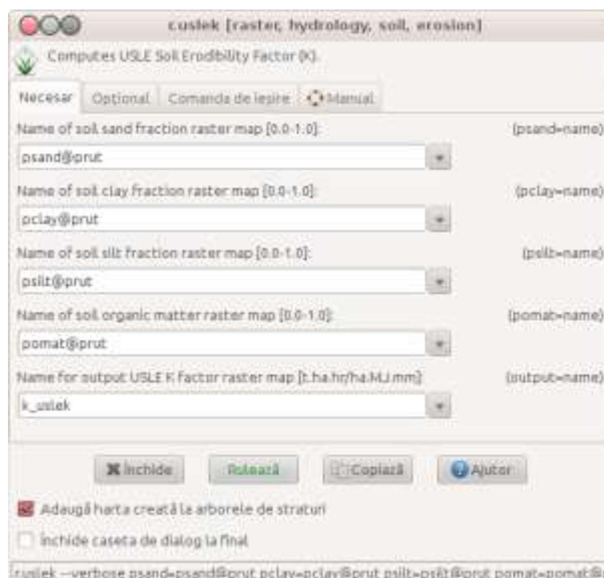


Fig. 4.9. Interfața grafică a modulului **r.uslek**

Modulul primește la intrări rasterele texturii solului (psand, pclay, psilt) și al conținutului de materie organică (pomat) reprezentate ca valori normalizate [0,0-1,0].

Tab. 4.7. Parametri statistici ai factorului K calculați cu r.univar (*t ha hr* ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})

Parametrii	K, r.uslek	K_SI
Minima	0,25	0,026
Maxima	0,48	0,072
Media	0,26	0,047
StDev	0,04	0,008

Rasterul de ieșire este reprezentat prin factorul erodabilității solului (K), în (*t ha hr* ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}). Distribuția spațială a valorilor obținute pentru factorul K este prezentată în Anexa 6.5.

De asemenea, în Tabelul 4.12 se regăsesc parametrii statistici de bază a distribuției valorilor factorului R în cadrul Câmpiei Prutului de Mijloc. Comparând rezultatele cu altele, provenind din studii similare, am observat o supraestimare a valorilor factorului K de aproximativ 10 ori. Erodibilitatea solului pentru teritoriul Europei, spre exemplu, a fost estimată la o valoare medie de 0,032 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} [141].

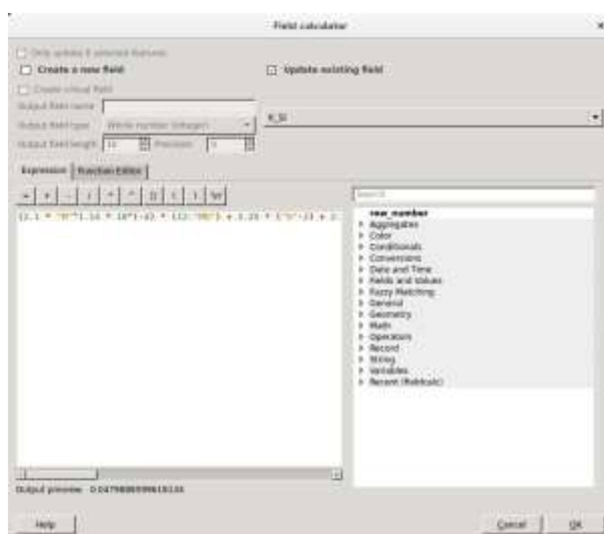


Fig. 4.10. Aplicarea formulei de calcul în Field Calculator

În paralel s-a aplicat și abordarea prezentată în Ecuațiile 4.9 și 4.10. Calculele au fost realizate în QGIS Field Calculator (Figura 4.11), aplicând Ecuațiile 4.9 și 4.10 în forma:

(4.12)

$$K_{SI} = (2{,}1 \times M^{1{,}14} \times 10^{(-4)} \times (12 - MO) + 3{,}25 \times (S-2) + 2{,}5 \times (P-3)) / 100 \times 0{,}1317$$

Unde: M = (nisip + praf) x (100 - argilă); MO – ponderea materiei organice (%); S – codul structurii solului; P – codul permeabilității solului; 0,1317 – coeficient de transformare a valorilor în sistem SI.

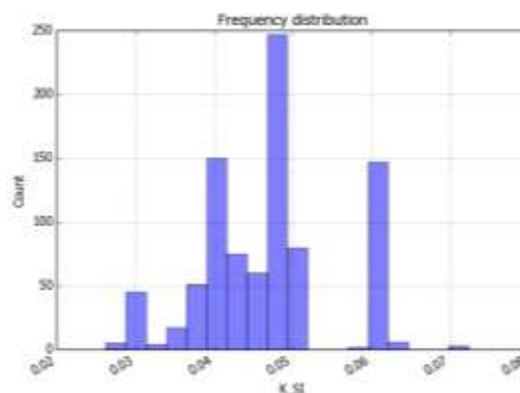


Fig. 4.11. Distribuția valorilor K (SI)

Valorile obținute pentru factorul K (Tabel 4.7, Figura 4.12) variază între 0,026 și 0,072 la o medie de 0,047 (t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), valori care aproximează destul de bine cu valorile obținute la nivelul Uniunii Europene [141].

4.1.2.3. Factorul relief (LS)

Lungimea versantului determină concentrarea apei – între aceste două existând o legătură directă (cu cât lungimea acestuia este mai mare cu atât mai multă apă se concentrează la baza versantului). De asemenea, cu cât mai mare este panta, cu atât mai mare și eroziunea. Combinația factorilor S și L reprezintă factorul topografic (LS). Poate fi calculat după formula lui [188]:

(4.13)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^{t} \times \left(65,41 \times sin^2\beta + 4,56 \times sin\beta + 0,0654\right)$$

Unde: λ - proiecția orizontală a lungimii versantului (m); t - constantă dependentă de mărimea pantei (este egală cu 0,5 pentru s>5%, 0,4 pentru 3% < s ≤ 5%, 0,3 pentru 1% < s ≤ 3%, și 0,2 pentru s ≤ 1%); și β - panta în grade.

Ecuația Universală a Pierderilor de Sol (USLE) este o ecuație empirică dezvoltată pentru a descrie eroziunea limitată de capacitatea de detașare pentru terenuri cu curbură neglijabilă și fără depunere. Pentru a incorpora impactul convergenței scurgerii, factorul lungimii versantului a fost înlocuit de [128] și [66] cu suprafața de recepție pe unitate de lățime contur.

Această metodă se bazează pe teoria puterii unității de scurgere (unit stream power) [128, 129], unde A_s - suprafața de drenaj, iar β - panta în grade.

(4.14)

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13}\right)^{0,4} \times \left(\frac{sin\beta}{0,0896}\right)^{1,3}$$

În [135] se propune o variantă 3D modificată a acestei formule.

(4.15)

$$LS = (m+1) \times \left(\frac{U}{22,1} \right)^m \times \left(\frac{sin\beta}{0,09} \right)^n$$

Unde: U - suprafața drenată pe lățime de unitate (pixel) (m^2/m); β - panta (grade); m, n - parametri (m=0,6; n=1,3); a0 = 22,1 m, lungimea standard a unei parcele USLE; b0 - 0,09 = 9% = 5,150 - panta standard pentru o parcelă USLE.

Metoda (numită convențional ***r.flow***) aplicată pentru a calcula factorul LS în GRASS GIS constă din următoarele etape:

- utilizând comanda ***r.flow*** se calculează rasterul concentrării scurgerii (flowacc)
- utilizând comanda ***r.slope.aspect*** se calculează panta (slope)
- utilizând instrumentul ***r.mapcalc*** se calculează factorul LS utilizând expresia:

(4.16)

$$LS = (0,6+1) \times \left[\frac{flowacc \times rezolutia}{22,1} \right]^{0,6} \times \left[\frac{\sin(panta)}{0,09} \right]^{1,3}.$$

Modulul ***r.watershed*** din GRASS GIS oferă o metodă mai eficientă de determinare a facorului LS. Acesta analizează elevația în scopul calculării unor parametri hidrologici de bază și a unor factori RUSLE. În speță, se pot calcula hărțile raster ale acumulării scurgerii, direcției de drenaj, cursurile de apă și bazinele hidrografice, precum și factorii LS și S din modelul RUSLE. Comenzile utilizate pentru realizarea celor patru versiuni ale factorului LS sunt prezentate în Tabelul 4.8.

Tab. 4.8. Comenzile utilizate pentru rularea modulului ***r.watershed***

Comanda	Algoritmul utilizat pentru calcularea căilor de scurgere	Parametri de intrare
r.watershed --overwrite --verbose elevation=dem.topo@PERMANENT depression=depressions@PERMANENT flow=water.flow@PERMANENT blocking=blocking_flow@PERMANENT threshold=10000 accumulation=accumulation.mfd.with tci=topoindex.mfd.with spi=stream.power.index.mfd.with drainage=draindir.mfd.with basin=basins.mfd.with stream=streams.mfd.with half_basin=half.basin.mfd.with length_slope=**length.slope.mfd.with**	MFD (direcții multiple de scurgere)	Elevația = dem.topo Depresiuni - depressions Scurgerea = water.flow Blocaje pentru scurgere = blocking_flow

Comanda	Algoritmul utilizat pentru calcularea căilor de scurgere	Parametri de intrare
slope_steepness=slope.steepness.mfd.with memory=1024		
r.watershed -s --overwrite --verbose elevation=dem.topo@PERMANENT depression=depressions@PERMANENT flow=water.flow@PERMANENT blocking=blocking_flow@PERMANENT threshold=10000 accumulation=accumulation.sfd.with tci=topoindex.sfd.with spi=stream.power.index.sfd.with drainage=draindir.sfd.with basin=basins.sfd.with stream=streams.sfd.with half_basin=half.basin.sfd.with length_slope=**length.slope.sfd.with** slope_steepness=slope.steepness.sfd.with memory=1024	SFD (direcție unică de scurgere)	Elevația = dem.topo Depresiuni - depressions Scurgerea = water.flow Blocaje pentru scurgere = blocking_flow
r.watershed --overwrite --verbose elevation=dem.topo@PERMANENT threshold=10000 accumulation=accumulation.mfd.without tci=topoindex.mfd.without spi=stream.power.index.mfd.without drainage=draindir.mfd.without basin=basins.mfd.without stream=streams.mfd.without half_basin=half.basin.mfd.without length_slope=**length.slope.mfd.without** slope_steepness=slope.steepness.mfd.without memory=1024	MFD (direcții multiple de scurgere)	Elevația = dem.topo
r.watershed -s --overwrite --verbose elevation=dem.topo@PERMANENT threshold=10000 accumulation=accumulation.sfd.without tci=topoindex.sfd.without spi=stream.power.index.sfd.without drainage=draindir.sfd.without basin=basins.sfd.without stream=streams.sfd.without half_basin=half.basin.sfd.without length_slope=**length.slope.sfd.without** slope_steepness=slope.steepness.sfd.without memory=1024	SFD (direcție unică de scurgere)	Elevația = dem.topo

Printre hărțile intermediare, calculate de modulul r.watershed, se numără și hărțile concentrării/acumulării scurgerii (Figurile 4.13-4.16). Acestea reprezintă direcțiile de concentrare a scurgerii, astfel că cu cât o celulă a rasterului se găsește mai în „aval”, cu atât valoarea pe care o deține este mai mare.

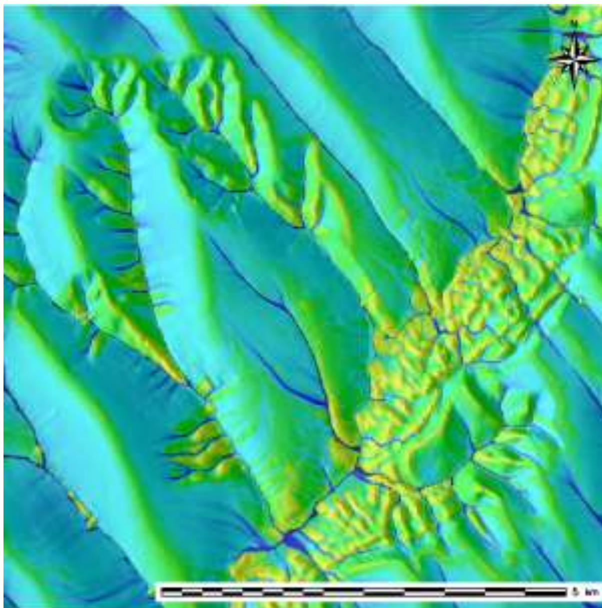


Fig. 4.12. Acumularea scurgerii (MFD, cu bariere)

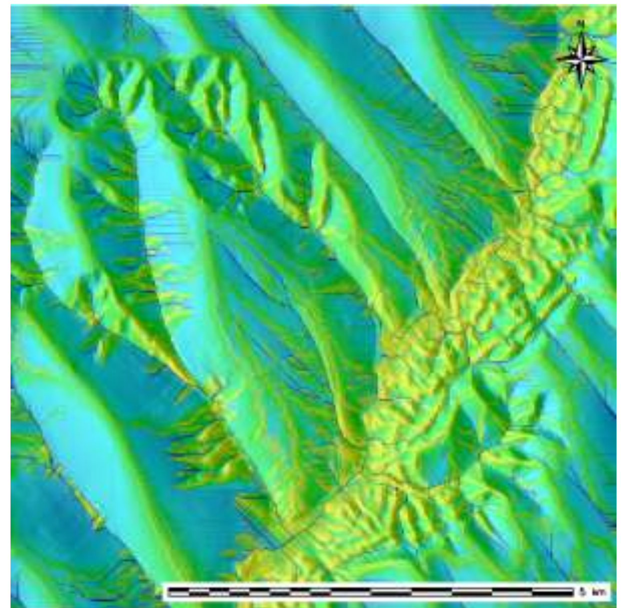


Fig. 4.13. Acumularea scurgerii (SFD (D8), cu bariere)

Valoarea concentrării scurgerii reprezintă „bazinul de recepție" de pe care se face acumularea scurgerii lichide și solide. Deci, cu cât este mai mare valoarea unei celule, cu atât se presupune că prin aceasta va trece o cantitate mai mare de apă și, respectiv, sedimente.

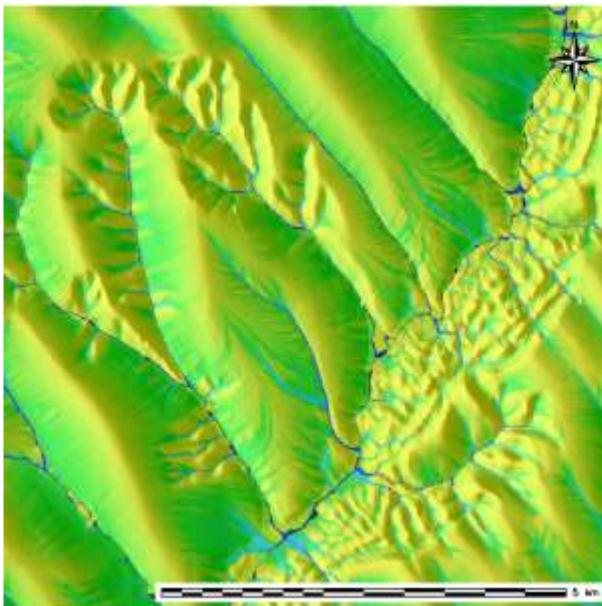


Fig. 4.14. Acumularea scurgerii (MFD, fără bariere)

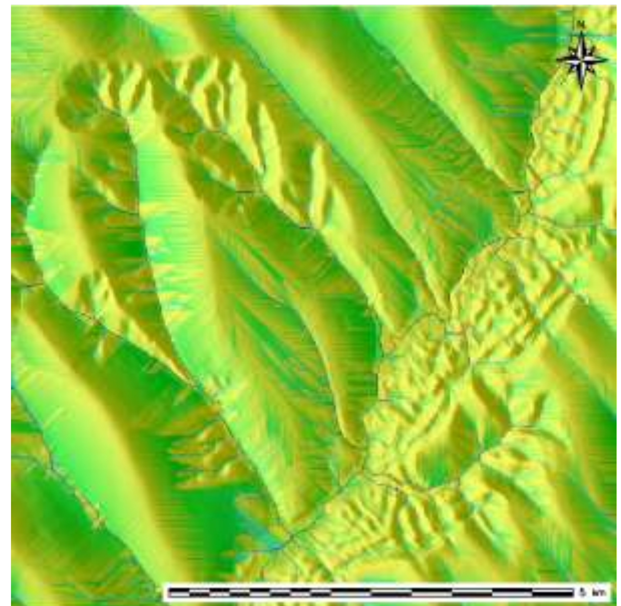


Fig. 4.15. Acumularea scurgerii (SFD (D8), fără bariere)

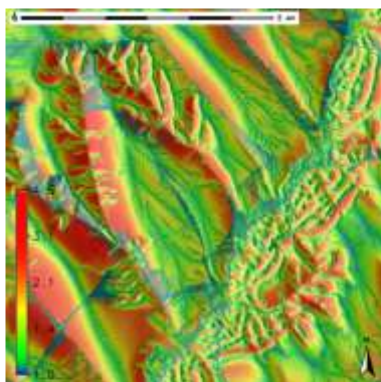
În Tabelul 4.9 se regăsesc parametrii statistici de bază a distribuției valorilor factorului LS în cadrul Câmpiei Prutului de Mijloc.

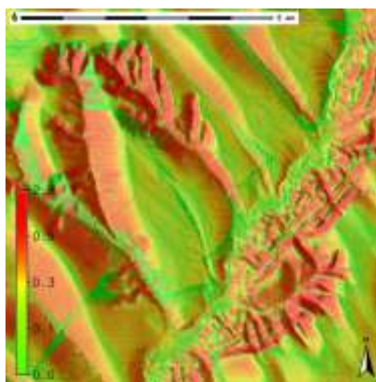
Se poate constata că metoda folosind ***r.watershed*** oferă rezultate mult mai bune comparativ cu metoda ***r.flow***.

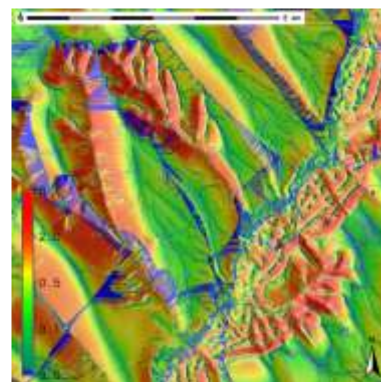
Tab. 4.9. Parametri statistici ai hărții factorului LS calculați cu ***r.univar***

Parametri	r.flow	**l.s.mfd.with**	**l.s.sfd.with**	**l.s.mfd.without**	**l.s.sfd.without**
Minima	0	0,03	0,03	0,03	0,03
Maxima	1314,18	7,4	8,06	7,4	8,05
Media	5,29	0,29	0,63	0,32	0,7
Deviația standard	7,96	0,45	0,74	0,5	0,75
Coeficientul de variație	150,5 %	156 %	117,5 %	155,5%	106,2%

După cum se cunoaște, factorul LS se obține ca și produs a două componente: factorul lungimii și factorul înclinării versanților; în Figurile 4.17-4.19 sunt prezentați cei doi factori, atât separat cât și efectul lor cumulat.


Fig. 4.16. Factorul lungimii versanților (metoda SFD, cu bariere)


Fig. 4.17. Factorul înclinării versanților (metoda SFD, cu bariere)


Fig. 4.18. Factorul LS (metoda SFD, cu bariere)

În Figurile 4.20-4.24 sunt prezentate distribuțiile valorilor factorului LS (ls.r.watershed) în cadrul zonei. Se poate observa, în primul rând, un model structural diferit al distribuției spațiale pentru cele două metode de calcul a căilor de scurgere (MFD și SFD). Modelul MFD rezultă într-o structură mai complicată, care pune în evidență căile de scurgere, servind astfel drept metodă eficientă pentru determinarea arealelor de eroziune și, respectiv, depunere, dar și pentru scoaterea în evidență a suprafețelor potențial expuse eroziunii liniare.

De asemenea, se poate observa faptul că pentru cele două metode (SFD și MFD), în urma analizei statistice, rezultă valori medii mai ridicate pentru metoda SFD (0,63-0,7) decât pentru metoda MFD (0,29-0,32). Astfel, utilizarea celor două metode, poate duce la obținerea de rezultate destul de diferite, ducând la supraestimarea sau subestimarea pierderilor de sol de până la de două ori mai mult.

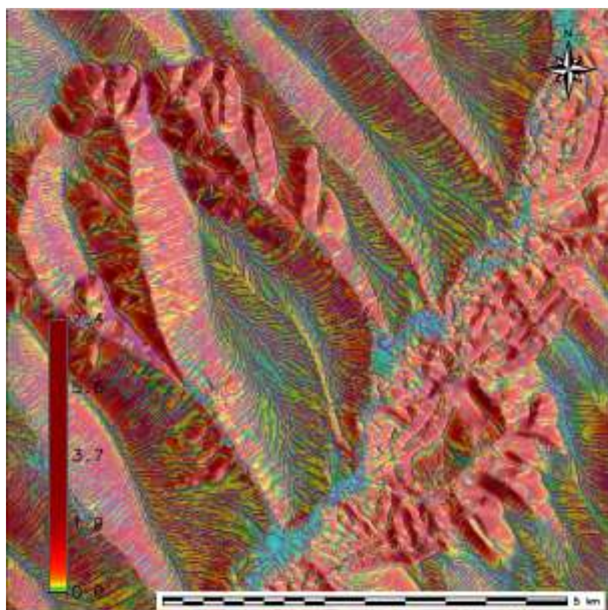


Fig. 4.19. Factorul LS (MFD, cu bariere)

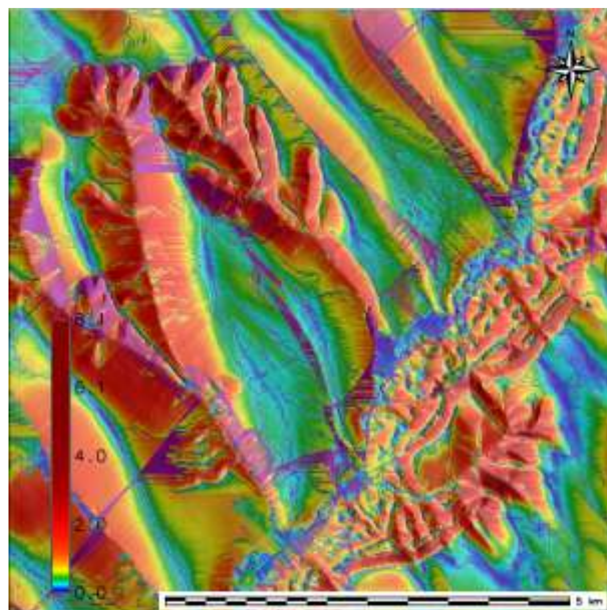


Fig. 4.20. Factorul LS (SFD (D8), cu bariere)

O altă deosebire rezultă din utilizarea sau nu a „barierelor” pentru scurgere, care în cazul nostru au fost reprezentate de căile de transport rutier și feroviar, și care prin elementele lor structurale constituie piedici în calea scurgerii de suprafață, ducând astfel la scurtarea căilor de scurgere. Se observă astfel o reducere a valorii medii a factorului LS de la 0,32 și 0,7 la, și respectiv, 0,29 și 0,63.

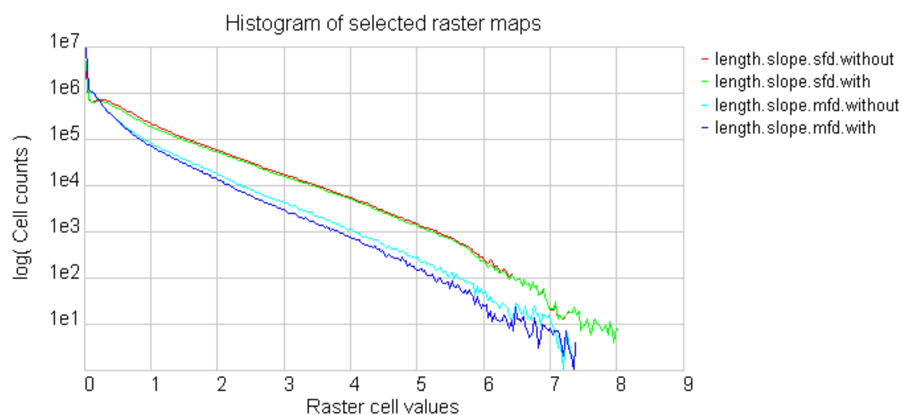


Fig. 4.21. Distribuția valorilor factorului LS în zona de studiu

Distribuția valorilor LS este prezentată în Figura 4.22, din care, de asemenea, se poate observa prezența unor valori mai ridicate în cazul utilizării metodei SFD fără aplicarea barierelor pentru scurgere.

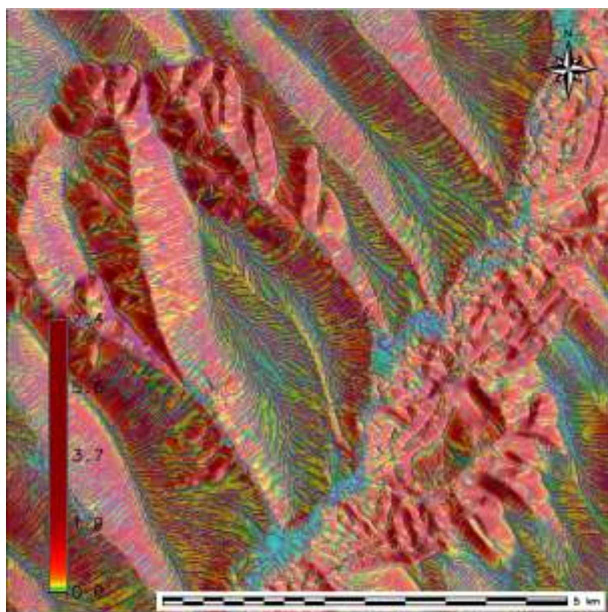


Fig. 4.22. Factorul LS (MFD, fără bariere)

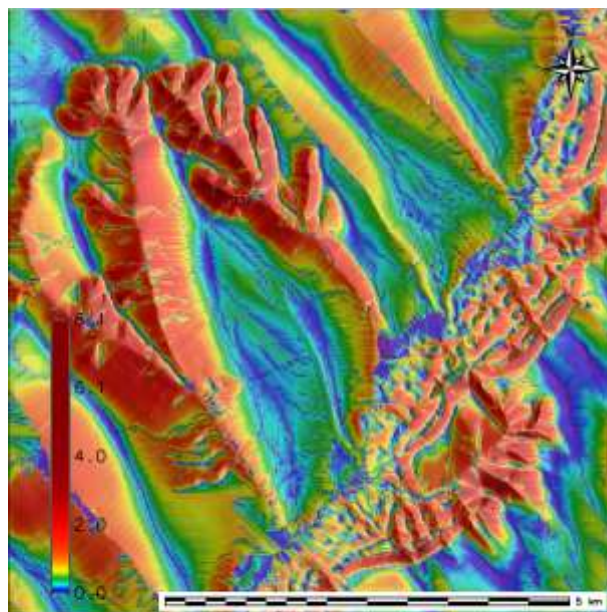


Fig. 4.23. Factorul LS (SFD (D8), fără bariere)

Un studiu recent de P. Panagos et al. (2014) estimează valoarea factorului LS pentru statele europene, iar în conformitate cu acesta, pentru România factorul LS este egal cu 2,09, pentru Ungaria – 0,59, reprezentând, deci, valori similare cu cele obținute de noi. Hărțile factorului combinat LS sunt prezentate în Anexele 6.7-6.10.

4.1.2.4. Acoperirea terenurilor (Factorul C)

Unul dintre cei mai importanți factori în ecuația USLE (și RUSLE) este factorul managementului acoperirii terenului (C) care reprezintă efectul vegetației și al practicilor agricole asupra ratei eroziunii solului. Acesta arată și în ce mod va fi distribuit de-a lungul anului potențialul eroziv, odată cu diferite faze agricole, de construcție etc. Factorul C reprezintă influența vegetației asupra eroziunii solului și poate lua valori între 0 – în păduri, unde datorită vegetației compacte, eroziunea se reduce la zero și 1 – în arealele neacoperite de vegetație, unde eroziunea se produce fără efectul moderator al vegetației.

Covorul vegetal protejează solul prin disiparea energiei picăturilor de ploaie. Astfel, eroziunea solului poate fi limitată prin tehnici de management potrivite. În amândouă modelele, USLE și RUSLE, factorul C este calculat din ecuații empirice care conțin măsurători în teren [188, 147]. Pentru determinarea acestui factor se poate utiliza tabelul lui [188], care prezintă valori prestabilite pentru diferite categorii de utilizare/acoperire a terenului. Tabelul, determinat pentru SUA, se bazează pe: înălțimea vegetației, indicele de recuperare și gradul de înierbare și ponderea resturilor vegetale în litieră.

Metoda tradițională de estimare a factorului C conferă valori claselor de acoperire a terenului realizate prin clasificarea supervizată sau nesupervizată a imaginilor satelitare. Valorile factorului C pentru fiecare clasă sunt obținute din tabele ce se regăsesc în literatura de specialitate (Tabelele 4.10 și 4.11) sau sunt calculate în baza observațiilor în teren [131, 102, 79]. Astfel, în cadrul unei clase de acoperire a terenului, valoarea factorului C rămâne constantă (ceea ce nu corespunde întocmai realității).

Tab. 4.10. Sub-factorul tipului de cultură [167]

Tipul de cultură	**Factor**
Porumb pentru boabe	0,40
Porumb pentru siloz, fasole și rapiță	0,50
Cereale (primăvară & iarnă)	0,35
Culturi horticole sezoniere	0,50
Pomi fructiferi	0,10
Pășuni și fânețe	0,02

Așa cum, la moment, imaginile satelitare oferă informații la zi asupra acoperirii terenului, utilizarea lor la realizarea hărților acoperirii terenurilor este larg răspândită [159].

Tab. 4.11. Sub-factorul metodei de prelucrare a solului [167]

Metoda de prelucrare a solului	Factor
Arătură de toamnă	1,0
Arătură de primăvară	0,90
Mulcire	0,60
Cultură în brazdă	0,35
Cultură în fâșii	0,25
Fără arătură	0,25

De asemenea, reieșind din necesitatea de a diferenția spațial valorile factorului C, în cadrul acelorași clase de acoperire, se recurge adesea la obținerea acestui factor utilizând indici cum ar fi indicele de vegetație NDVI [59, 112].

Metodele date implică utilizarea regresiilor pentru obținerea gradului de corelație între factorul C și valorile NDVI. Rolul regresiei este de a estima valorile necunoscute ale variabilei dependente (factorul C) în baza valorilor cunoscute ale variabilei independente utilizând un model matematic. Așa cum valorile C variază între 1 (pentru sol descoperit) și 0 (pădure).

Ecuația de regresie rezultată este:

$$C = -0{,}33 + 1{,}96 \times NDVI \tag{4.17}$$

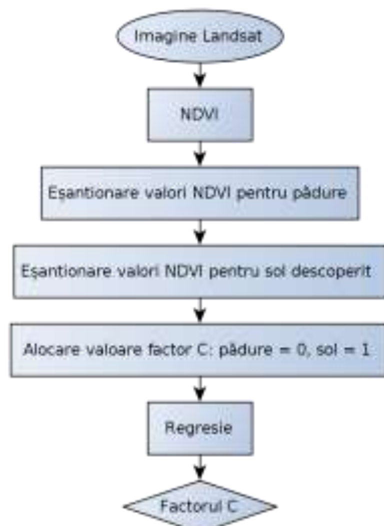


Fig. 4.24. Estimarea factorului C utilizând NDVI

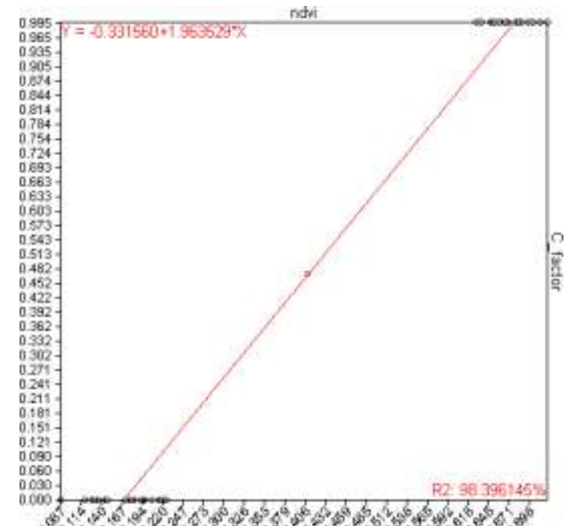


Fig. 4.25. Corelația dintre NDVI și factorul C

În [60] se utilizează următoarea ecuație:

$$C = 0{,}431 - 0{,}805 \times NDVI \tag{4.18}$$

În [102] se deduce următoarea ecuație:

$$C = 1{,}02 - 1{,}21 \times NDVI \tag{4.19}$$

Unde: *NDVI - Normalized Difference Vegetation Index*

Din analiza acestora se poate observa, că formula lui Karaburun și formula elaborată de autor dau rezultate similare.

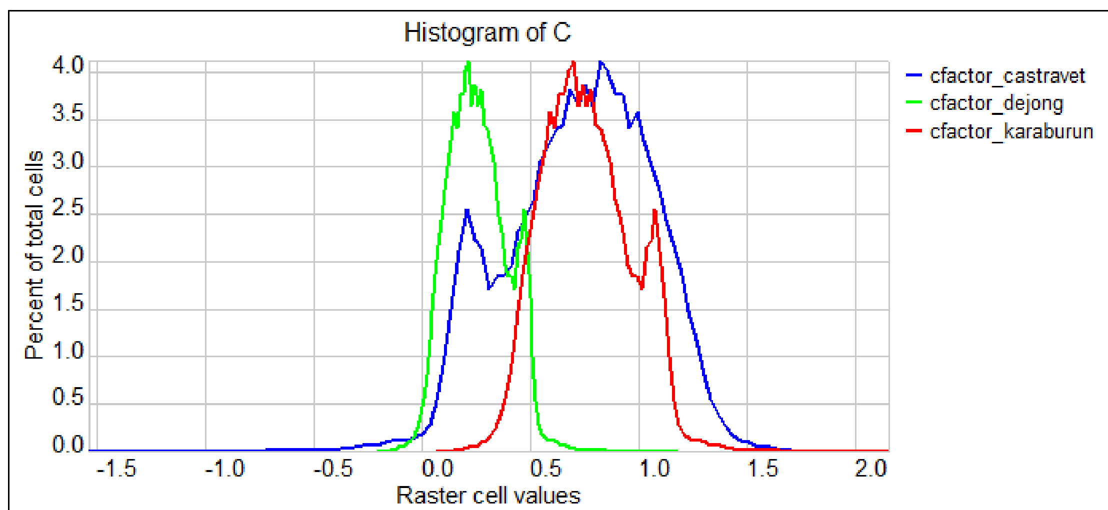


Fig. 4.26. Distribuția valorilor factorului C

În Tabelul 4.7 se regăsesc parametrii statistici de bază a distribuției valorilor factorului C calculat după cele trei formule enumerate mai sus.

Tab. 4.12. Parametri statistici ai hărții factorului C calculați cu ***r.univar***

Parametri	Karaburun, 2010	de Jong, 1998	Castraveț
Minima	0,06	-0,20	-1,53
Maxima	2,17	1,19	1,88
Media	0,77	0,26	0,73
Deviația standard	0,21	0,14	0,33

Hărțile distribuției valorilor factorului C (calculat prin metodele De Jong (1998); Karaburun (2010); și autor (2013, nepublicat) se găsesc în Anexele 6.11, 6.12 și 6.13.

4.1.2.5. Practicile antierozionale (P)

Aratul și orientarea parcelelor agricole paralel curbelor de nivel, culturile în benzi alternative sau pe terase, reîmpăduririle, crearea de monticuli și creste de rocă sunt practicile cele mai eficiente de conservare a solului. Valorile factorului P sunt mai mici sau egale cu 1. Valoarea 1 este atribuită terenurilor pe care nu se întreprinde nicio măsură anti-erozională.

În zona de studiu, în prezent, se întreprind foarte puține măsuri de ameliorare, în special împăduriri și reîmpăduri a terenurilor degradate. S-au mai păstrat însă unele amenajări realizate în a doua jumătate a secolului XX-lea. Se cunoaște însă, că abandonarea terenurilor agricole are ca rezultat degradarea progresivă a teraselor și a șanțurilor antierozionale.

Tab. 4.13. Valori ale factorilor C și P, din [174]

Utilizare terenuri	**C-Factor**	**P-Factor**	**CP-factor**
Localități	1	1	1
Teren viran	1	1	1
Cariere	1	1	1
Arabil	0,28	0,28	0,078
Pârloagă	1	0,28	0,28
Plantații	0,28	0,28	0,078
Păduri dense	0,004	1	0,004
Păduri rare	0,008	1	0,008
Păduri degradate	0,008	1	0,008
Tufișuri	0,7	1	0,7
Pajiști	0,18	1	0,18
Teren înmlăștinit	0	1	0,0
Acvatic	0	1	0,0

În scopul generării stratului de hartă a factorului P am utilizat Harta acoperirii/utilizării terenurilor (paragraful 2.2.4). Tabelul de atribute a hărții în format vectorial a fost completat cu corespondențele din Tabelul 4.13 pentru categoriile de acoperire/utilizare a terenurilor, după care stratul vectorial de hartă a fost convertit în format raster.

4.1.2.6. Pierderile anuale potențiale de sol (A potențial)

Hărțile pierderilor de sol au fost generate ca produs a stratelor de hartă reprezentând factorii din modelul RUSLE. Astfel, am generat hărți ale pierderilor potențiale de sol în condițiile date de precipitații, sol și relief și pierderile estimate de sol, luând în considerație și condițiile de acoperire/utilizare a terenurilor.

Eroziunea potențială a solului calculată după formulele (Tabel 4.14), ca produs dintre factorii erozivității precipitațiilor (R), factorul erodibilității solurilor (K) și factorul relief (LS).

Tab. 4.14. Comenzile utilizate pentru generarea hărților eroziunii potențiale în GRASS GIS

r.mapcalc expression = "A_potent_mfd.with = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.mfd.with@PERMANENT"
r.mapcalc expression = "A_potent_mfd.without = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.mfd.without@PERMANENT"
r.mapcalc expression = "A_potent_sfd.with = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.sfd.with@PERMANENT"
r.mapcalc expression = "A_potent_sfd.without = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.sfd.without@PERMANENT"

Au fost calculate patru versiuni de hartă a pierderilor potențiale de sol, pornind de la utilizarea celor patru versiuni ale factorului LS: (1) SFD, fără bariere; (2) SFD, cu bariere; (3) MFD, fără bariere și (4) MFD, cu bariere (Figurile 4.28-4.31).

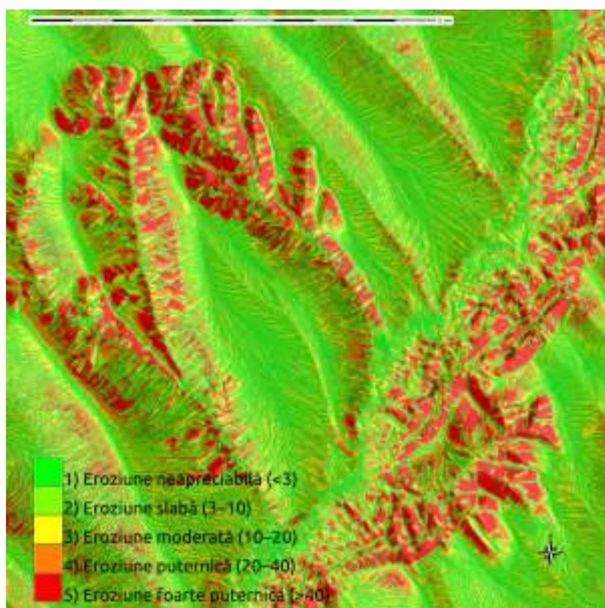


Fig. 4.27. Pierderi anuale potențiale de sol, t ha^{-1} an^{-1} (MFD, fără bariere)

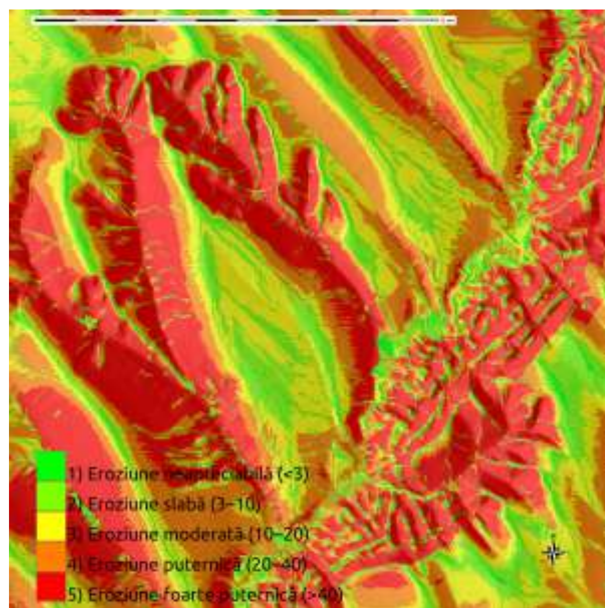


Fig. 4.28. Pierderi anuale potențiale de sol, t ha^{-1} an^{-1} (SFD, fără bariere)

Studiul statistic a hărților pierderilor potențiale de sol a dat următoarele (Tabel 4.15):

Tab. 4.15. Ponderea claselor de eroziune potențială în zona de studiu

	Clasa de risc (t ha^{-1} an^{-1})	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
1	Eroziune neapreciabilă (<3)	10,72%	19,60%	37,36%	38,55%
2	Eroziune slabă (3-10)	14,97%	14,37%	22,71%	23,94%

	Clasa de risc (t ha^{-1} an^{-1})	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
3	Eroziune moderată (10-20)	20,04%	18,23%	16,23%	16,38%
4	Eroziune puternică (20-40)	25,02%	21,82%	12,55%	11,87%
5	Eroziune foarte puternică (>40)	29,24%	25,98%	11,15%	9,26%

Putem observa o pondere ridicată a claselor de risc mare și foarte mare la eroziune în cazul estimării prin metoda SFD, comparativ cu metoda MFD la care o ponderea mare se înregistrează la clasele cu risc mic.

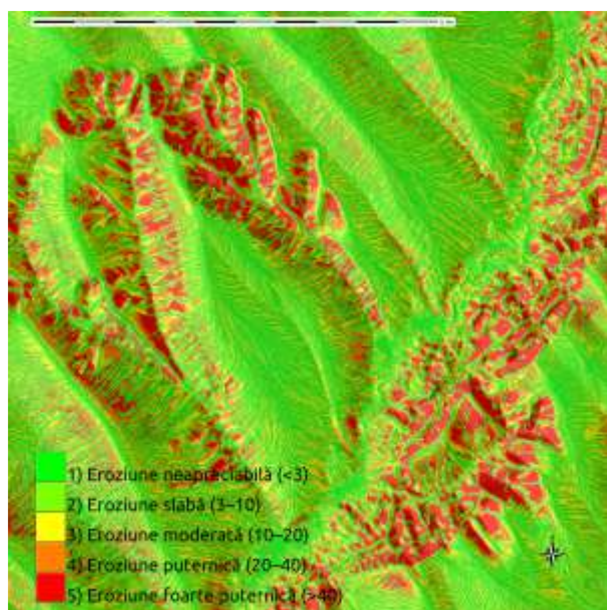


Fig. 4.29. Pierderi anuale potențiale de sol, t ha^{-1} an^{-1} (MFD, cu bariere)

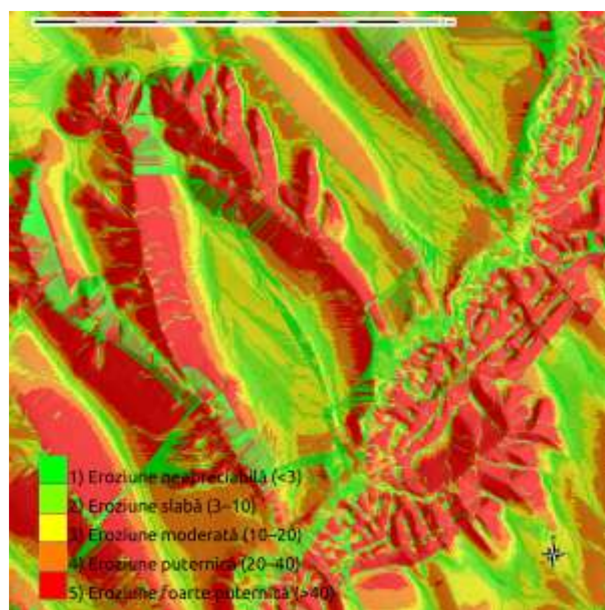


Fig. 4.30. Pierderi anuale potențiale de sol, t ha^{-1} an^{-1} (SFD, cu bariere)

La nivel de bazin hidrografic eroziunea potențială prezintă următoarele aspecte (Tabel 4.16).

Tab. 4.16. Pierderile medii potențiale de sol pe bazine hidrografice, t ha^{-1} an^{-1}

ID	Bazin	Suprafața, km^2	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
1	Șovețul Mare	205,1	36,1	32,1	16,3	14,3
2	Prut - Camenca	211,0	19,9	18,8	10,4	9,4
3	Prut - Suta de Movile	73,8	29,9	26,9	14,2	13,1
4	Șoltoaia cu Vladnic	281,7	37,7	33,9	17,0	14,8
5	Gârla Mare	287,9	43,9	39,4	19,8	17,2
6	Prut - Gârla Mică	140,4	37,4	34,5	16,0	14,2
7	Camenca cu Camencuța	318,7	32,9	30,0	15,7	14,5
8	Căldărușa cu Glodeanca	320,6	29,1	26,0	13,3	12,2
9	Șovețul Mic (Ustia) cu Obreja	256,4	33,1	29,4	15,4	13,9
10	Delia	209,8	47,4	41,8	20,5	17,6

La nivel de raion administrativ eroziunea potențială prezintă următoarele aspecte (Tabel 4.17).

Tab. 4.17. Pierderile medii potențiale de sol pe raioane administrative, t ha^{-1} an^{-1}

ID	Raion	Suprafața, km^2	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
1	Ungheni	569,3	40,7	36,2	17,9	15,4
2	Râșcani	313,5	30,9	28,1	15,1	14,0
3	Glodeni	649,9	28,8	25,9	13,4	12,2
4	Fălești	772,4	37,5	34,0	17,2	15,1
5	Sângerei	0,2	34,1	31,4	12,9	11,4

4.1.3. Pierderile de sol, valori limită și nivele de toleranță

Pentru a identifica cu siguranță și precizie arealele cu risc de apariție a eroziunii este necesară stabilirea unor *valori limită* și a unor *nivele de toleranță*. *Valorile limită* reprezintă valori de referință sub care ecosistemele nu mai sunt în echilibru, sunt probleme în ceea ce privește riscul de apariție a eroziunii. *Nivelele de toleranță*, pe de altă parte, se referă la aspectele ecologice, economice și sociale și stabilesc ce intensitate a eroziunii nu poate fi susținută. Estimările prin modele trebuie să fie comparate cu aceste nivele de toleranță pentru a asigura indicații relative asupra intensității pierderilor de sol [45].

Valorile limită și nivelele de toleranță pot fi stabilite cu aproximație în funcție de tipul de sol, dar diferă de la o regiune la alta și în funcție de tipul de vegetație. Mai mult, intensitatea eroziunii naturale, adâncimea profilului de sol și alte însușiri care limitează dezvoltarea sistemului radicular, cum ar fi adâncimea stratelor de sol compacte și conținutul ridicat de săruri sunt factori care trebuie avuți în vedere și care fac dificil de stabilit niște valori limită reprezentative. Pentru stabilirea valorilor limită trebuie avută în vedere rata de formare a solului, prin care procesele naturale compensează pierderea unui anumit volum de sol într-o anumită perioadă de timp.

Autorii [37] prezintă un sistem de clasificare a terenurilor ocupate de cernoziomuri, după gradul de severitate a eroziunii, cuprinzând terenuri slab, mediu și puternic erodate, în dependență de grosimea orizontului humusit, proprietățile fizico-chimice și biogene. Astfel, pentru cernoziomuri și solurile cenușii de pădure neafectate, grosimea orizontului humusit constituie peste 80 cm, iar pentru cele afectate de eroziune, respectiv, 60-80 cm (slab erodate), 40-60 cm (mediu erodate) și 25-40 cm (puternic erodate). De asemenea, cu cât este mai mare gradul de erodare a solurilor, cu atât este mai mic conținutul de materie organică.

Limita superioară a clasei de „eroziune a solului scăzută” este foarte importantă, deoarece aceasta stă la baza stabilirii măsurilor de ameliorare și/sau conservare a solurilor afectate de

eroziune (Tabel 4.18). Această limită poate coincide cu rata de formare a solului, pentru că dacă rata pierderii de sol este egală sau depășește 2 t ha^{-1} an^{-1} există un risc potențial de apariție a eroziunii. În Statele Unite ale Americii, după Hall et al. (1985), limita admisă pentru pierderile de sol coincide cu rata potențială de formare a solului, care a fost stabilită ca fiind 11 t ha^{-1} an^{-1} [144].

Tab. 4.18. Pierderi de sol încadrate în clasa „scăzută" stabilite după diferiți autori [144]

Categorie	Pierderi de sol (t/ha/an)	Autor
Eroziune absentă	0-1	Moțoc et al. (1992) citat de Centeri și Császár, 2003
	0-2	Centeri și Császár (2003)
Fără eroziune	0-4	Jambor et al. (1998) citat de Centeri și Császár, 2003
Eroziune scăzută	0-5	De la Rosa (1998)
		Sparovek et al., Weill et al. (1998)
Foarte mică (tolerabilă)	0-6,7	Stone și Hilborn, 2000
Absentă sau scăzută	0-10	FAO-UNEP-UNESCO (1979) citat de Centeri și Császár, 2003
Scăzută	0-40	Stefanovits (1992)

În prezent nu există o abordare unitară în ceea ce privește stabilirea claselor de cuantificare a pierderilor de sol prin eroziune.

Tab. 4.19. Clasele de toleranță la pierderea de sol [167]

Clasa de eroziune a solului	Pierderile de sol (tone ha^{-1} an^{-1})
Foarte mică (tolerabilă)	<6,7
Mică	6,7 – 11,2
Moderată	11,2 – 22,4
Mare	22,4 – 33,6
Severă	>33,6

Pierderile de sol mai mari de 1 t ha^{-1} an^{-1}, în condițiile unei rate mici de formare a solului, pot fi considerate ca ireversibile într-un interval de timp de 50-100 ani. Pierderile de sol de 20 până la 40 t/ha/an în urma unor precipitații abundente de tipul furtunilor, care pot apare la 2-3 ani odată, sunt asociate la nivel european cu pierderi mai mari de 100 t/ha/an în timpul unor evenimente obișnuite.

Tab. 4.20. Suprafețele afectate de eroziune pe zone pedologice (Cad. Func. al Rep. Moldova, 1.01.1997, Vol. 1)

Gradul de eroziune a solurilor Republicii Moldova	Anii luați în calcul							
	1965		1975		1995		1997	
	Mii ha	%	Mii ha	%	Mii ha	%	Mii ha	%
Total terenuri agricole	2521	100	2522	100	2556,7	100	2555,5	100
Terenuri erodate	594,2	23,6	634,4	25,9	824,1	32,2	839,7	32
- slab	302,4	12	341,9	13,6	485,3	19	490,5	19,2
- mediu	195,6	7,8	213	8,4	244,6	9,6	246,7	9,5

Gradul de eroziune a solurilor Republicii Moldova	Anii luați în calcul							
	1965		1975		1995		1997	
	Mii ha	%	Mii ha	%	Mii ha	%	Mii ha	%
- puternic	96,2	3,8	99,5	3,9	94,2	3,7	102,5	4
Terenuri non-erodate	1926,8	76,4	1867,6	74,1	1732,6	67,8	1715,8	67

Situația actuală privind eroziunea solului, după cum reiese din literatura de specialitate, arată pierderi ale solului în Republica Moldova, provocate de eroziunea plană, de 15,9 t ha^{-1} an^{-1} - pe terenuri arabile, 10,7 t ha^{-1} an^{-1} - în vii și livezi, la care se adaugă și cele 13,1 t ha^{-1} an^{-1} provocate de procese de ravenare (Tabel 4.20, Tabel 4.21).

Tab. 4.21. Pierderi anuale de materie datorită eroziunii (Bul. de monitoring ecopedologic, 1996)

Zone pedo-climatice	Suprafața, cercetată mii ha	Pierderi anuale, mii tone					
		Sol fertil	Humus	Azot	Fosfor	Potasiu	Producția, unități nutritive
Terenuri arabile							
Nord	652,4	3880	115	8	5	102	262,5
Centru	289,9	9828	255	17	13	230	99,9
Sud-Est	103,6	741	21	2	1	17	35,6
Sud	248,9	7695	215	16	9	179	126,8
Total	1394,8	22144	606	43	28	528	524,8
Vii și livezi							
Nord	84	893	12,3	0,9	0,6	9,1	1,43
Centru	127	1220	32,7	2,4	2,2	24,2	19
Sud-Est	25,6	251	7,2	0,5	0,5	4,7	3,7
Sud	113,9	1401	38,6	2,7	2,7	25,5	1,97
Total	350,5	3765	90,8	6,5	6	63,5	56,7
Provocate de ravenare							
Nord	1,61	18,88	0,56	0,05	0,03	0,41	-
Centru	1,96	25,88	0,74	0,05	0,05	0,48	-
Sud-Est	0,43	5,82	0,16	0,01	0,01	0,11	-
Sud	1,78	24,96	0,71	0,05	0,05	0,46	-
Total	5,78	75,54	2,17	0,16	0,14	1,46	-

Aceste cantități de sol înseamnă, de fapt, pierderi de 0,43 (terenuri arabile), 0,26 (vii și livezi) și 0,38 (prin ravenare) tone de humus de pe hectar pe an, sau pierderi de 0,03 (terenuri arabile), 0,02 (vii și livezi) și 0,03 (prin ravenare) tone de azot pe hectar pe an și pierderi de 0,02 (terenuri arabile), 0,017 (vii și livezi) și 0,024 (prin ravenare) tone de fosfor pe hectar pe an.

Eroziunea estimată a solului calculată după formulele (Tabel 4.22), ca produs dintre factorii erozivității precipitațiilor (R), factorul erodibilității solurilor (K), factorul relief (LS) și factorul acoperirii/utilizării terenurilor (CP).

Tab. 4.22. Comenzile utilizate pentru generarea hărților pierderilor de sol în GRASS GIS

r.mapcalc expression = "A_mfd_with = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.mfd.with@PERMANENT * lulc_CP_factor@PERMANENT"

r.mapcalc expression = "A_mfd_without = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.mfd.without@PERMANENT * lulc_CP_factor@PERMANENT"
r.mapcalc expression = "A_sfd_with = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.sfd.with@PERMANENT * lulc_CP_factor@PERMANENT"
r.mapcalc expression = "A_sfd_without = r.regresie@PERMANENT * K_SI@PERMANENT * length.slope.sfd.without@PERMANENT * lulc_CP_factor@PERMANENT"

Au fost calculate patru versiuni de hartă a pierderilor estimate de sol, pornind de la utilizarea celor patru versiuni ale factorului LS: (1) SFD, fără bariere; (2) SFD, cu bariere; (3) MFD, fără bariere și (4) MFD, cu bariere (Figurile 4.32-4.35).

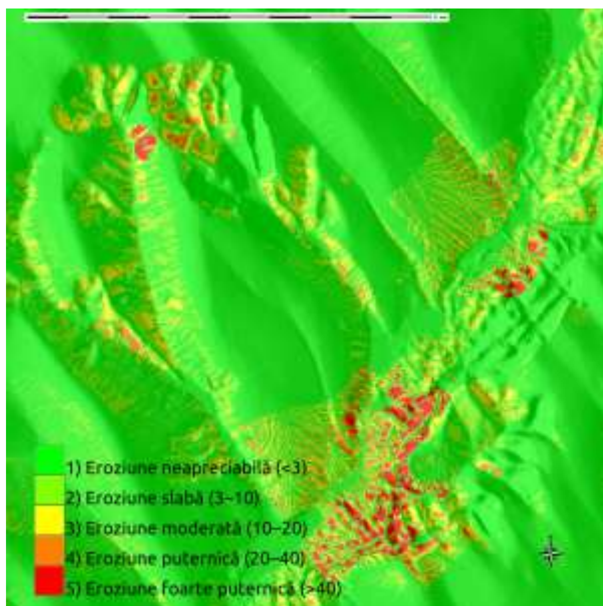


Fig. 4.31. Pierderi anuale estimate de sol, t ha^{-1} an^{-1} (MFD, fără bariere)

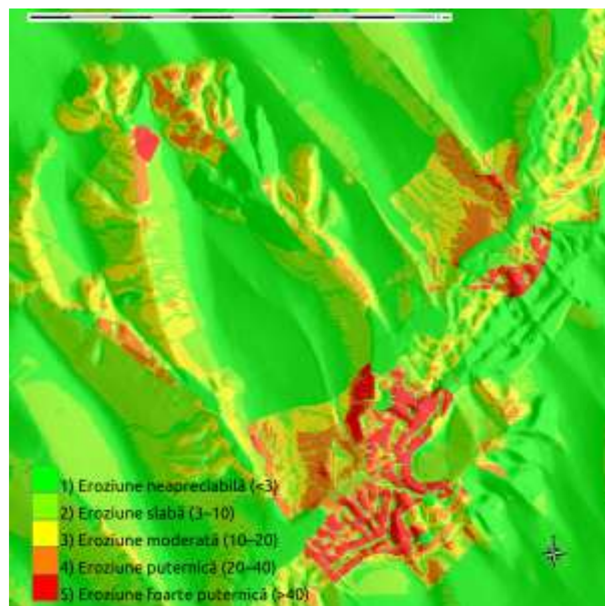


Fig. 4.32. Pierderi anuale estimate de sol, t ha^{-1} an^{-1} (SFD, fără bariere)

Riscul se calculează cu ajutorul metodei recomandate de M. Moțoc et al. în 1978 (Tabel 4.23).

Tab. 4.23. Clasele de risc a pierderii de sol [19]

Clasa de eroziune a solului	**Pierderile de sol (tone ha^{-1} an^{-1})**
Eroziune neapreciabilă	< 3
Eroziune slabă	3 – 10
Eroziune moderată	10 – 20
Eroziune puternică	20 – 40
Eroziune foarte puternică	> 40

Analiza statistică a hărților pierderilor estimate de sol a dat următoarele rezultate (Tabel 4.24):

Tab. 4.24. Ponderea claselor de eroziune estimată în zona de studiu

	Clasa de risc (t ha^{-1} an^{-1})	**SFD, fără bariere**	**SFD, cu bariere**	**MFD, fără bariere**	**MFD, cu bariere**
1	Eroziune neapreciabilă (<3)	64,46%	68,84%	81,64%	83,14%
2	Eroziune slabă (3-10)	20,65%	18,30%	11,70%	11,10%

	Clasa de risc (t ha^{-1} an^{-1})	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
3	Eroziune moderată (10-20[1])	7,35%	6,54%	3,84%	3,45%
4	Eroziune puternică (20-40)	4,47%	3,77%	1,82%	1,54%
5	Eroziune foarte puternică (>40)	3,08%	2,55%	1,00%	0,77%

Se observă că estimarea pierderilor de sol utilizând metoda SFD rezultă în ponderi mai mici pentru clasa 1 de risc neapreciabil (64,46 și 68,84%) față de metoda MFD (81,64 și 83,14%), și în același timp o creștere a ponderii claselor de eroziune moderată, puternică și foarte puternică.

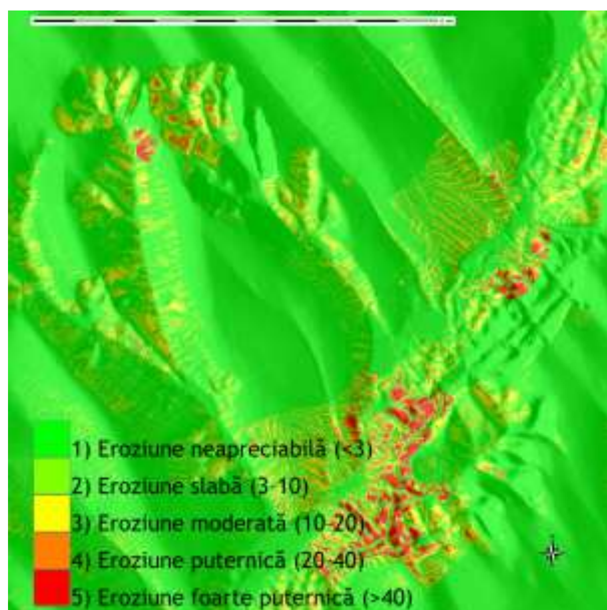


Fig. 4.33. Pierderi anuale estimate de sol, t ha^{-1} an^{-1} (MFD, cu bariere)

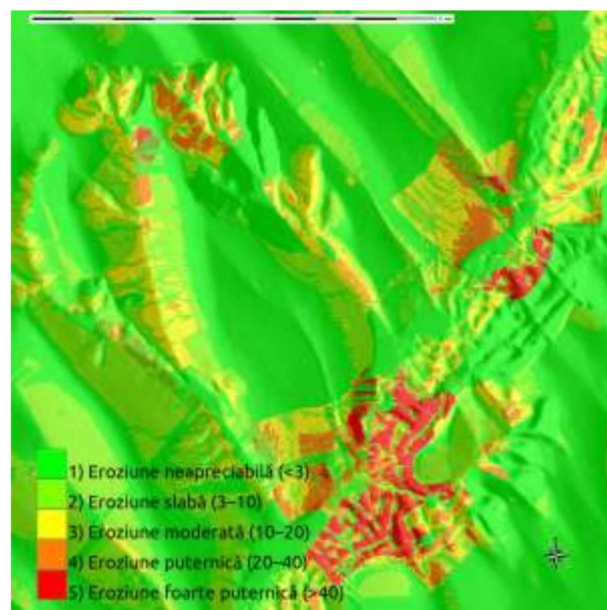


Fig. 4.34. Pierderi anuale estimate de sol, t ha^{-1} an^{-1} (SFD, cu bariere)

La nivel de bazin hidrografic eroziunea estimată prezintă, de asemenea, următorul aspect: estimările realizate prin metoda SFD returnează valori medii practic duble ale pierderilor de sol față de metoda MDF (Tabel 4.25).

Tab. 4.25. Pierderile medii estimate de sol pe bazine hidrografice, t ha^{-1} an^{-1}

ID	Bazin	Suprafața, km^2	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
1	Șovețul Mare	205,1	5,6	4,7	2,4	2,0
2	Prut - Camenca	211	3,9	3,6	2,0	1,8
3	Prut - Suta de Movile	73,8	3,7	3,2	1,7	1,5
4	Șoltoaia cu Vladnic	281,7	6,0	5,1	2,6	2,3
5	Gârla Mare	287,9	7,7	6,8	3,3	2,8
6	Prut - Gârla Mică	140,4	5,3	4,6	2,2	1,9
7	Camenca cu Camencuța	318,7	6,7	5,9	3,2	2,9
8	Căldărușa cu Glodeanca	320,6	4,7	4,1	2,1	1,9
9	Șovețul Mic (Ustia) cu Obreja	256,4	5,8	5,0	2,7	2,4

ID	Bazin	Suprafața, km^2	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
10	Delia	209,8	8,7	7,6	3,7	3,1

O situație similară observăm și în cazul statisticii pe raioane, sau alte unități teritoriale (Tabel 4.26). Astfel, valori mari se înregistrează în raioanele Ungheni, Râșcani și Fălești.

Tab. 4.26. Pierderile medii estimate de sol pe raioane administrative, t ha^{-1} an^{-1}

ID	Raion	Suprafața, km^2	SFD, fără bariere	SFD, cu bariere	MFD, fără bariere	MFD, cu bariere
1	Ungheni	569,3	6,9	6,0	2,9	2,5
2	Râșcani	313,5	6,5	5,8	3,2	2,9
3	Glodeni	649,9	4,5	3,9	2,1	1,9
4	Fălești	772,4	6,4	5,6	2,8	2,5
5	Sângerei	0,2	2,3	2,3	0,8	0,8

4.2. Prognoze privind evoluția riscului eroziunii

4.2.1. Dezvoltarea durabilă

Dezvoltarea durabilă încearcă să găsească soluții teoretice și practice în activitatea antropică în corelație cu mediul înconjurător, mediul economic sau mediul social. Prima semnalare a faptului că evoluțiile economice și sociale ale statelor lumii și ale omenirii în ansamblu nu mai pot fi separate de consecințele activității umane asupra cadrului natural s-a făcut în raportul din 1972 al Clubului de la Roma, intitulat *Limitele creșterii*. Documentul sintetizează datele privind evoluția a cinci parametri (creșterea populației, impactul industrializării, efectele poluării, **producția de alimente** și **epuizarea resurselor naturale**), sugerând concluzia că modelul de dezvoltare practicat în acea perioadă nu poate fi susținut pe termen lung.

Conceptul de dezvoltare durabilă reprezintă rezultatul unei abordări integrate a factorilor politici și decizionali, în care protecția mediului și creșterea economică pe termen lung sunt considerate complementare și reciproc dependente. De la acest punct, problemele complexe ale dezvoltării durabile au căpătat o dimensiune politică globală, fiind abordate la cel mai înalt nivel la Conferința Mondială pentru Mediu și Dezvoltare Durabilă de la Rio de Janeiro (1992), la Sesiunea Specială a Adunării Generale a ONU și adoptarea Obiectivelor Mileniului (2000), la Conferința Mondială pentru Dezvoltare Durabilă de la Johannesburg (2002) și la Conferința Mondială pentru Dezvoltare Durabilă de la Rio de Janeiro (2012). Au fost elaborate programe concrete de acțiune la nivel global și local, printre care *Agenda 21 Locală*, conform dictonului „*să gândim global și să acționăm local*”.

Pământul are o capacitate limitată de a satisface cererea crescândă de resurse naturale din partea sistemului socioeconomic și de a absorbi efectele distructive ale folosirii lor. Schimbările climatice, **fenomenele de eroziune** și deșertificare, poluarea solului, apei și aerului, reducerea suprafeței sistemelor forestiere tropicale și a zonelor umede, dispariția sau periclitarea existenței unui număr mare de specii de plante și animale terestre sau acvatice, epuizarea accelerată a resurselor naturale neregenerabile au început să aibă efecte negative, măsurabile, asupra dezvoltării socioeconomice și calității vieții oamenilor în zone vaste ale planetei. În cadrul acestui proces au fost adoptate o seamă de convenții internaționale care stabilesc obligații precise din partea statelor și termene stricte de implementare privind schimbările climatice, conservarea biodiversității, protejarea fondului forestier și zonelor umede, limitarea folosirii anumitor produse chimice, accesul la informații privind starea mediului și altele. Acest tip de dezvoltare include criterii de protejare a ecosistemelor, **a solului**, a aerului și a apei, și criterii de conservare a diversității biologice având în vedere necesitățile generațiilor viitoare.

Semnând Declarația Națiunilor Unite pentru Mediu și Dezvoltare de la Rio de Janeiro din 1992, Republica Moldova și-a manifestat voința și și-a asumat obligația de a se integra în procesul global de tranziție la modelul de dezvoltare durabilă. În conformitate cu această obligațiune, în anul 2000, a fost aprobată „Strategia Națională pentru Dezvoltarea Durabilă", elaborată în cadrul Programului Națiunilor Unite pentru Dezvoltare.

În cadrul UE, Politica Agricolă Comună (PAC) este una dintre primele politici comunitare, creată cu obiectivul asigurării necesarului de alimente în cadrul Comunității. PAC reprezintă un set de reguli și mecanisme care reglementează producerea, procesarea și comercializarea produselor agricole în Uniunea Europeană și care acordă o atenție crescândă dezvoltării rurale. Este principal politică prin intermediul căreia fermierii obțin alocații în Uniunea Europeană. În sensul de a beneficia de îndemnizații, fermierii trebuie să se conformeze „celor mai bune practici" în ceea ce privește gestiunea utilizării terenurilor. Principala componentă a eco-condiționalității este obligația de a menține terenurile în Bune Condiții Agricole și de Mediu [139]. Conceptul include: protecția terenurilor împotriva eroziunii, protejarea materiei organice și a structurii solului și salvgardarea caracteristicilor peisajului. Fiecare stat membru, nu Uniunea Europeană, decide asupra parametrii exacți ai acestor specificații. Una dintre opțiunile de a accesa efectul GAEC în ceea ce privește reducerea eroziunii solului se bazează pe utilizarea modelelor privind riscul eroziunii solului. La nivel național, de cele mai multe ori, s-au pus în practică modele bazate pe Ecuația Universală a Pierderilor de Sol (USLE) [139].

Pentru Republica Moldova dezvoltarea durabilă presupune o abordare complexă a problemei utilizării resurselor: 1) lipsa resurselor limitează dezvoltarea; 2) dezvoltarea localităților urbane și rurale provoacă poluarea mediului – solului, aerului, apelor de suprafață și freatice etc.; 3) exploatarea intensivă a unor resurse (solului, apelor, pădurilor) reduce capacitatea lor de regenerare, conduce la sărăcia populației.

Fundamentarea metodologiei de control a eroziunii întâmpină un complex de probleme complexe, pentru multe dintre care nu s-a găsit încă un răspuns. Toate aceste probleme pot fi împărțite în patru părți: 1) mecanismul eroziunii; 2) condițiile care determină intensitatea și formele eroziunii; 3) fezabilitatea tehnică și viabilitatea economică a diferitelor metode de control a eroziunii; 4) mecanismele de cultivare a solului, care ar trebui să fie utilizate pentru atenuarea eroziunii [31]. Pentru a pune în aplicare cu succes lupta împotriva eroziunii, celor patru laturi ale unei singure probleme ar trebui să le fie acordată atenție în egală măsură.

Gospodărirea rațională a solului înseamnă combinarea tehnologiilor și activităților în așa mod încât să se realizeze concomitent: bioproductivitatea, securitatea alimentară, protecția calității solului, viabilitatea economică și acceptabilitatea socială. Aceasta se poate realiza dacă se acționează în primul rând asupra principalului obiectiv – protecția calității solului. Menținerea pe termen lung a capacității de producție a solului, sporirea fertilității lui, combaterea deșertificării sunt sarcinile strategice primordiale ale întregii națiuni.

4.2.2. Evoluția riscului eroziunii în condițiile schimbării mediului

Modificarea pierderilor de sol ca urmare a împăduririi teritoriului. Reforma funciară, pe lângă multiplele probleme de natură economică [12], a determinat și agravarea stării mediului înconjurător, degradarea terenurilor agricole, inclusiv din cauza intensificării eroziunii solului. Una dintre problemele majore care au rezultat din procesul de privatizare în agricultură a fost și este fragmentarea excesivă a terenurilor agricole.

Astfel, terenurile cu destinație agricolă în Republica Moldova sunt deținute de 1.316.253 beneficiari, unui beneficiar revenind-i, în medie, 1,507 ha de teren agricol [13].

După suprafața arabilă pe cap de locuitor, Rep. Moldova ocupă unul din primele locuri în Europa (0,41 ha/loc.), fiind devansată doar de Ungaria (0,466 ha/loc.), Finlanda (0,424 ha/loc.), Danemarca (0,422 ha/loc.), Bulgaria (0,422 ha/loc.), și România (0,422 ha/loc.). În același timp, raportul dintre suprafața arabilă a Rep. Moldova și numărul de locuitori este aproape de 8 ori mai mare decât în cazul altor state, cunoscute pentru agricultura performantă, ca Olanda și Elveția.

De asemenea, după suprafața arabilă ce revine la un locuitor, Rep. Moldova înregistrează o valoare aproape dublă față de media mondială (0,26 ha/loc.) și cea europeană (0,236 ha/loc.) [13]. Trebuie însă de remarcat faptul că deținătorii de terenuri agricole posedă fiecare câteva parcele dispersate spațial, repartizate pe diferite categorii de utilizare a terenurilor, astfel încât, de obicei, parcelele au suprafețe de doar 0,2-0,4 ari.

Se observă că reforma funciară, realizată în cadrul Programului Național „Pământ”, a fost făcută fără a se ține cont de măsurile necesare de protecție antierozională a solului [12].

Astfel, apare evidentă necesitatea unor ajustări în ceea ce privește utilizarea terenurilor în Republica Moldova. Acest fapt a fost confirmat și în studii anterioare, care relevă, printre altele, necesitatea împăduririi/reîmpăduririi unor suprafețe de teren care astăzi se găsesc în alte categorii de folosință.

În acest studiu de caz am dorit să scoatem în evidență consecințele împăduririi teritoriului, prin amenajarea de plantații forestiere pe terenurile care prezintă un grad de adecvare (conveniență) mare și foarte mare la împădurire/reîmpădurire [2].



Fig. 4.35. Valoarea factorului CP actual



Fig. 4.36. Valoarea factorului CP după împădurire

Astfel, printre actualele categorii de utilizare au fost identificate acele parcele care corespund gradului mare și foarte mare de adecvare pentru împădurire, fiindu-le modificată apoi valoarea factorului compus CP de la valoarea actuală la 0,004, care corespunde cu pădurile (Figurile 4.36 și 4.37).

Tab. 4.27. Modificarea ponderii claselor de risc în urma împăduririi unor suprafețe de teren

Clasa de risc	**Stare actuală**	**Stare după împădurire**
1 - Eroziune neapreciabilă (<3)	83,14%	86,44%
2 - Eroziune slabă (3–10)	11,10%	8,73%

3 - Eroziune moderată (10–20)	3,45%	2,75%
4 - Eroziune puternică (20–40)	1,54%	1,33%
5 - Eroziune foarte puternică (>40)	0,77%	0,75%

După aceasta s-a trecut la calcularea valorii pierderilor de sol în condiții modificate de acoperire/utilizare a terenurilor. Am generat doar o singură hartă nouă, folosind factorul LS produs prin metoda MFD, cu bariere (Figura 4.39), pe care am comparat-o cu harta pierderilor de sol în condiții actuale (Figura 4.38).

Analiza statistică a acestor două hărți (Tabel 4.27) scoate în evidență efectul de reducere a eroziunii ca urmare a împăduririi parțiale a teritoriului (pe baza terenurilor cu adecvare mare și foarte mare). Astfel, ponderea suprafețelor cu risc erozional neapreciabil ar crește de la 93,14% la 86,44%, din contul celorlalte categorii de suprafețe (Figura 4.38, Figura 4.39).

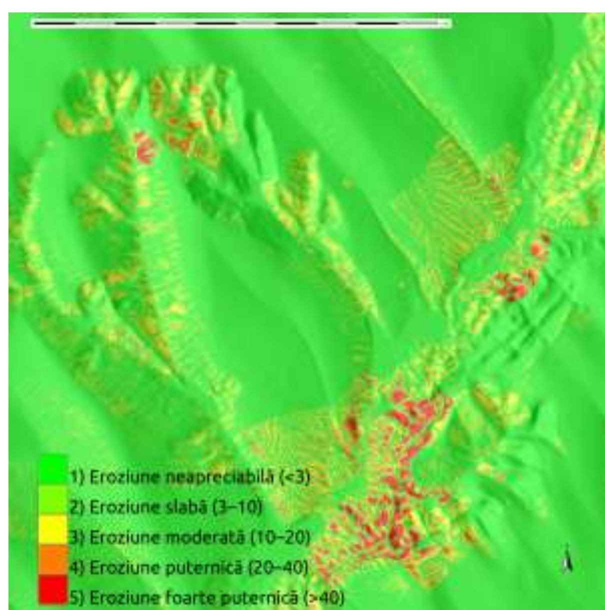


Fig. 4.37. Pierderi de sol în condiții actuale (t ha^{-1} an^{-1})

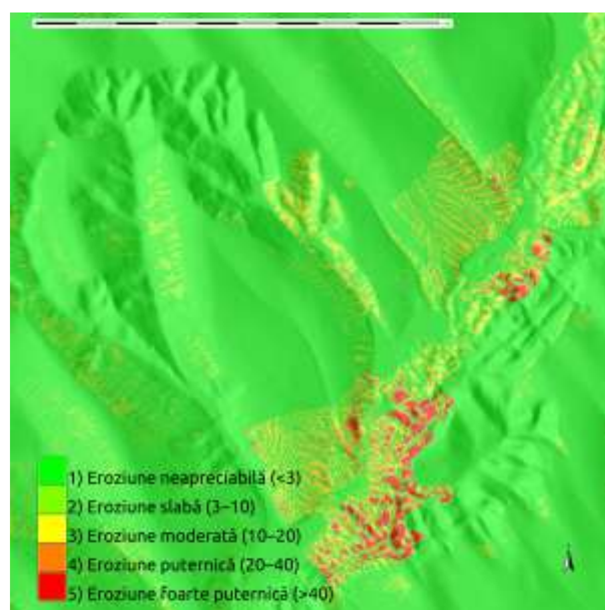


Fig. 4.38. Pierderi de sol în condiții modificate de mediu (t ha^{-1} an^{-1})

4.2.3. Recomandări privind protecția solurilor împotriva eroziunii

Protecția resurselor de sol reprezintă o problemă majoră și istorică, în același timp, astfel că la moment există mai multe lucrări cu caracter de recomandare, privind măsurile care trebuie implementate în sensul protecției resurselor de sol. În linii mari aceste recomandări pot fi grupate în două categorii: recomandări organizatorice (sistemice) și recomandări specifice.

Recomandările organizatorice se referă la organizarea, în baza rezultatelor cercetărilor pedologice a teritoriului comunelor și gospodăriilor agricole, revederea structurii folosințelor agricole și silvice, restructurarea folosințelor, în funcție de natura proceselor de degradare și de necesitatea menținerii echilibrului ecologic dintre ecosistemele naturale și a celor antropice;

Sistemul complex de protecție antierozională a solurilor se realizează prin proiecte de organizare și amenajare antierozională a moșiilor comunelor, bazinelor acvatice și cuprind acțiuni și măsuri după cum este descris în Anexa 7:

4.3. Concluzii la capitolul 4

1) Variabilitatea relativ mare a condițiilor climatice au ca rezultat un interval destul de larg al valorilor erozivității precipitațiilor în zona de studiu, valori cuprinse între 893,4 și 1161,5, la o medie de 1058,2 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}. Găsim astfel, factorul R ca fiind destul de variabil, din care cauză utilizarea regresiilor pentru determinarea valorilor erozivității trebuie făcută cu precauție. Cea mai bună estimare este dată de relația dintre factorul R și valorile indicelui Fournier (R^2=50,86%), în comparație cu indicele Fournier modificat (IFM) și cantitatea anuală de precipitații (P) (R^2=27,04% și R^2=16,4%, respectiv).

2) Estimarea factorului relief (LS) este de importanță majoră pentru calcularea pierderilor de sol, iar metoda de estimare utilizată are un rol primar în ceea ce privește rezultatul, acesta putând să se modifice chiar și de două ori. Astfel, metoda SFD returnează rezultate cuprinse între 0,63 și 0,7, iar metoda MFD – de doar 0,29-0,32. Astfel, selectarea diferitor algoritmi de rutare a scurgerii determină nu doar amplitudinea valorilor rezultate ci și modelul distribuției spațiale a valorilor factorului relief. De asemenea, se poate constata că, în cazul în care se dorește aprecierea cantitativă precisă a cantității de sol pierdut, este necesară calibrarea modelului.

3) Factorii acoperirii terenului (C) și practicilor antierozionale (P) reprezintă adevărate probleme privind estimarea, necesitând cartări ale acoperirii/utilizării terenurilor și amenajărilor antierozionale. În acest sens, utilizarea tehnicilor de teledetecție și fotointerpretarea imaginilor satelitare și aerofotogramelor, utilizarea datelor LiDAR pentru construcția modelelor numerice ale terenului de mare precizie devin absolut de neînlocuit.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Concluzii

1) Problematica modelării eroziunii hidrice este destul de veche, începând a se pune în evidență încă în anii ’30 ai sec. al XX-lea, astfel că până în prezent s-a reușit o diversificare a modelelor privind eroziunea, toate acestea având la bază: **diverși algoritmi** (empirice, fizice), **abordări** (calitative, cantitative), **caracteristici** (pierderi de sol, acumulare de aluviuni) și **factori** (precipitații, relief, sol, vegetație, utilizare terenuri) ai procesului erozional, **scări spațiale** (parcelă, versant, bazin) și **temporale** (eveniment unic, medie) și forme ale eroziunii (laminară, șiroire, ravenare, la mal).

2) Condițiile naturale, precum și modificările antropice înregistrate în zona de studiu, se prezintă ca fiind **favorabile pentru dezvoltarea proceselor erozionale**; un rol important în acest sens jucându-l relieful, caracterizat prin prezența pantelor mai mari de 5^o (32,9%), o valoare medie ridicată a energiei reliefului, de 61,5 m, și o pondere de 6,61% a suprafețelor cu adâncimea fragmentării reliefului de peste 100 m, precum și o densitate a fragmentării reliefului care trece chir și de 2,5 km/km^2 [6, 10].

3) Formele liniare de eroziune în număr de 10.126 de organisme erozionale, au o lungime medie de 107,2 m și o lungime însumată de 1085,69 km. Astfel, **densitatea medie a organismelor erozionale este de 0,47 km/km^2, depășind însă, în unele sectoare, chiar și 6 km/km^2**. Formele eroziunii în adâncime se dezvoltă în toate subunitățile de relief, dar cu frecvențe și intensități diferite. Cea mai mare prezență este caracteristică jumătății de sud-est a Câmpiei Prutului de Mijloc, îndeosebi în vecinătatea Podișului Codrilor.

4) Variabilitatea relativ mare a condițiilor climatice au ca rezultat un **interval destul de larg al valorilor erozivității precipitațiilor în zona de studiu**, valori cuprinse între 893,4 și 1161,5, la o medie de 1058,2 MJ mm ha^{-1} h^{-1} an^{-1}. Găsim astfel, factorul R ca fiind destul de variabil, din care cauză utilizarea regresiilor pentru determinarea valorilor erozivității trebuie făcută cu precauție. **Cea mai bună estimare este dată de relația dintre factorul R și valorile indicelui Fournier** (R^2=50,86%), în comparație cu indicele Fournier modificat (IFM) și cantitatea anuală de precipitații (P) (R^2=27,04% și R^2=16,4%, respectiv) [5, 9].

5) Estimarea factorului relief (LS) este de importanță majoră pentru calcularea pierderilor de sol, iar metoda de estimare utilizată are un rol primar în ceea ce privește rezultatul, acesta putând să se modifice chiar și de două ori. Astfel, metoda SFD returnează rezultate cuprinse între 0,63 și 0,7, iar metoda MFD – de doar 0,29-0,32. Astfel, selectarea diferitor algoritmi de rutare a scurgerii determină nu doar amplitudinea valorilor rezultate ci și modelul distribuției spațiale a

valorilor factorului relief. De asemenea, se poate constata că, în cazul în care se dorește aprecierea cantitativă precisă a cantității de sol pierdut, este necesară calibrarea modelului [10].

6) Factorii acoperirii terenului (C) și practicilor antierozionale (P) reprezintă adevărate probleme privind estimarea, necesitând cartări ale acoperirii/utilizării terenurilor și amenajărilor antierozionale. În acest sens, utilizarea tehnicilor de teledetecție și fotointerpretarea imaginilor satelitare și aerofotogramelor, utilizarea datelor LiDAR pentru construcția modelelor numerice ale terenului de mare precizie devin absolut de neînlocuit.

7) **Teritoriul studiat se încadrează claselor de risc erozional după cum urmează**: eroziune neapreciabilă (<3 t ha^{-1} an^{-1}) - 83,14%, eroziune slabă (3-10 t ha^{-1} an^{-1}) - 11,10%, eroziune moderată (10-20 t ha^{-1} an^{-1}) - 3,45%, eroziune puternică (20-40 t ha^{-1} an^{-1}) - 1,54% și eroziune foarte puternică (>40 t ha^{-1} an^{-1}) - 0,77% [8, 11].

Recomandări

1) **Este necesară monitorizarea eroziunii plane și liniare**, direct în teren și/sau indirect, utilizând ortofotoplanuri și date LiDAR (care trebuie să satisfacă și cerința privind rezoluția temporală). Este, de asemenea, necesar de continuat cercetările experimentale (in situ și în laborator) privind studiul proceselor și factorilor eroziunii, în acest sens, amenajarea unor parcele erozionale, sau chiar a unei stațiuni privind studiul eroziunii solului (sau complexă) este necesară.

2) Modelele existente pe plan mondial nu satisfac pe deplin necesitățile practice privind evaluarea intensității proceselor erozionale în Republica Moldova. În Republica Moldova (comunitatea științifică și practicieni) **se resimte o necesitate enormă atât în ceea ce privește colectarea de date actualizate**, la o scară/rezoluție mare privind caracteristicile solului și a terenurilor (în special agricole), **cât și privind elaborarea unui model** (procedee, tehnici) privind estimarea eroziunii, care să fie, în același timp, simplu de aplicat, să nu solicite cantități mari de date de intrare, să fie integrat în SIG și să ofere rezultate satisfăcătoare [8, 11].

3) Protecția resurselor de sol reprezintă concomitent o problemă majoră și istorică, astfel că **se impune necesitatea luării unor măsuri în sensul protecției resurselor de sol**. Printre măsurile organizatorice recomandăm **restructurarea folosințelor terenurilor**, în funcție de natura proceselor de degradare și **consolidarea terenurilor agricole**. De asemenea, un sistem de protecție antierozională a solurilor realizat prin **proiecte de organizare și amenajare antierozională** a moșiilor comunelor, bazinelor acvatice etc., se face necesar de implementat [8, 11].

BIBLIOGRAFIE

1. Băcăuanu V. Cîmpia Moldovei. București: Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1968. 221 p.

2. Bejan Iu., Castraveț T., Avanzi A., Frank E., Dilan V., Using GIS for identification of potential areas for aforestation in the Republic of Moldova, Proceedings of the 22th Edition of the International GIS Symposium, 24-25 Octombrie 2014, Chișinău, 2015, pp. 27-31, ISBN 978-9975-9774-9-4.

3. Biali G., Popovici N. Tehnici SIG în monitoringul degradării erozionale. Iași: Editura „Gh. Asachi”, 2003.

4. Boboc N., Castraveț T. Republica Moldova. Regionarea fizico-geografică. În: Republica Moldova. Ediție enciclopedică. Chișinău: Ed. „Enciclopedia Moldovei”, 2009. p. 86-89.

5. Castraveț T. Aplicarea metodelor climatologice în studiul pericolului eroziunii solului, În: Materialele Conferinței Științifice Naționale cu participare Internațională ”Mediul și dezvoltarea durabilă”, 06-08 octombrie, Universitatea de Stat Tiraspol, Chișinău, 2016, p. 146-150.

6. Castraveț T., Clasificarea reliefului utilizând modelarea în SIG, Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Lucrări Științifice, Centrul Editorial al UASM, Vol. 30: Cadastru și Drept, Chișinău, 2011, pp. 14-20, ISBN 978-9975-64-215-6.

7. Castraveț T., Dilan V., Modelarea scurgerii de suprafață utilizând SIG, Materialele Conferinței Științifice cu participare Internațională „Mediul și dezvoltarea durabilă”, Ediția II, 22-24 Mai 2014, Chișinău, 2015, pp. 216-222, ISBN 978-9975-76-157-4.

8. Castraveț T., Estimating annual soil loss by water erosion in the Middle Prut Plain, Republic of Moldova, Revista „Geographia Napocensis”, Anul VI, Nr. 2, Cluj-Napoca, 2012, pp. 110-115, ISSN 1844-9840.

9. Castraveț T., Kuhn N. J., Rainfall erosivity factor estimation in Republic of Moldova, European Geosciences Union General Assembly 2017, SSS 2.1 - Land Degradation and Development. A State-of-the-Art, Vienna, Austria, 23-28 April 2017, http://presentations.copernicus.org/EGU2017-1194_presentation.pdf.

10. Castraveț T., Metode de estimare a pericolului eroziunii solului în baza modelului numeric al terenului, Materialele Conferinței Științifice cu participare Internațională „Probleme ecologice și geografice în contextul dezvoltării durabile a Republicii Moldova. Realizări și perspective”, 14-15 septembrie, Chișinău, 2016, pp. 454-459, ISBN 978-9975-9611-3-4.

11. Castraveț T., Middle Prut Plain erosion susceptibility evaluation, GeoReview, Analele Universității „Ștefan cel Mare" Suceava, Seria Geografie, Vol 20, No 1, Suceava, 2011, pp. 115-120, ISSN 1583-1469.

12. Cerbari V., Kuharuk E. Știința solului în ajutorul fermierilor. Chișinău: Tipografia UASM, 2005, 64 p.

13. Chivriga V. Evoluția pieței funciare agricole în Republica Moldova. În: Politici Publice, 2009, Nr 4, IDIS „Viitorul", Chișinău, Tipogr. „MS Logo" SRL, 48 p.

14. Condorachi D. MNT-instrument de analiză morfometrică a reliefului. În: Anal. Șt. Univ. „Al. I. Cuza", supl. Lucr. Sim. S.I.G. Iași: nr. 6, p. 97-110.

15. Goțiu D., Surdeanu V. Noțiuni fundamentale în studiul hazardelor naturale. Cluj-Napoca: Editura Presa Universitară Clujeană, 2007. 142 p.

16. Ielenicz M. Dealurile și podișurile României. București: Edit. Fundației „România de Mâine", 1999, 245 p.

17. Ioniță I. Geomorfologie aplicată - procese de degradare a regiunilor deluroase. Iași: Editura Universității „Al. I. Cuza", 2000. 249 p.

18. Mitrofan O. (Coord.) Building capacity in inventory of land cover/land use by remote sensing, Raportul tehnic al proiectului FAO TCP/MOL/2903 (A). Chișinău: Agenția Relații Funciare și Cadastru, 2006.

19. Moțoc M. Ritmul mediu de degradare erozională a teritoriului României. În: Buletin Informativ ASAS, 1983, No. 12, București.

20. Nour D., (Red.) Eroziunea solului: Esența, consecințele, minimalizarea și stabilizarea procesului. Chișinău: Pontos, 2004. 476 p.

21. Patriche C. V. Evaluarea biofizică și tehnică a terenurilor agricole. Iași: Edit. „Terra Nostra", 2003. 242 p.

22. Stângă Iu. C. Relații între erodibilitatea solurilor și proprietățile fizico-mecanice ale acestora, În: Factori și procese pedogenetice din zona temperată, 2005, Vol. IV, Serie nouă, p. 247-256.

23. Ursu A. Solurile Moldovei. Chișinău: Ed. Știința, 2011. 324 p.

24. Букатчук П. Д., Блюк И. В., Покатилов В, П. Геологическая карта Молдавской ССР, м-б. 1:200000 (Объяснительная записка). Кишинев: 1988, 272 с.

25. Гейдеман Т. С. и др. Типы леса и лесные ассоциации Молдавской ССР. Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1964. 268 с.

26. Гожик П.Ф. О синхронизации террас Днестра и Прута. În: Изв. АН Молдавской ССР, 1964, Nr 7. с. 14-16.

27. Жеру М. И. Глинистые образования Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1978б 231 с.
28. Козменко А. С. Основы противоэрозионной мелиорации. Москва: Сельхозгиз, 1954. 423 с.
29. Крупеников И. А. и др. Агропочвенное районирование Молдавской ССР. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1965, 168 с.
30. Лассе Г. Ф. Климат Молдавской ССР, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978, 374 с.
31. Маккавеев Н. И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки. Избранные труды. Москва: изд-во МГУ, 1998. 285 с.
32. Малеванчук А. Г., Могоряну Н. В., Нягу И.И. Характеристика поймы верхнего течения Прута. В: Научные основы рационального использования почв Черноземной зоны СССР и пути повышения их плодородия. Кишинев: 1968.
33. Маркина С. И. Структура почвенного покрова и качественная оценка территории степных и лесостепных регионов днестровско-прутского междуречья: (на примере северной Молдавии): Автореферат кандидата географических наук, Одесса, 1984, https://goo.gl/cZh3EQ.
34. Мельничук О., Бобок Н., Бежан Ю., Кастравец Т., Мунтян В., Желяпов А., Оценка склонового дождевого стока с водосборов Среднепрутской равнины, Buletinul Academiei de Științe a Moldovei, Seria Științele Vieții, Nr. 3 (315), Chișinău, 2011, pp. 154-162, ISSN 1857–064X.
35. Почвы Молдавии, Кишинев: Штиинца, 1984-1986, Т. 1-3.
36. Сильвестров С.И. Рельеф и земледелие, Москва: Сельхозгиз, 1955, 286 с.
37. Урсу А. Ф., Синкевич З. А. Охрана почв в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1988, 166 с.
38. Устинова Т. И. Роль климатических агентов в формировании релъефа Молдавии. В сб.: География и хозяйство Молдавии, Вып. 11, 1969, с. 16-28.
39. Arnoldus H. M. J. Methodology Used to Determine the Maximum Potential Range Average Annual Soil Loss to Sheet and Rill Erosion in Morocco. Assessing Soil Degradation. In: FAO Soils Bulletin, 1977, Vol. 34, p. 39-48.
40. Barling R. D., Moore I. D., Grayson R.B. A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content. In: Water Resources Research, 1994, Vol. 30, p. 1029-1044.
41. Bennett J.P. Concepts of mathematical modelling of sediment yield. In. Water Resources Research, 1974, No. 10, p. 485-492.

42. Beven K. J., Kirkby M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. In: Hydrol. Sci. Bull., 1979, Vol. 24, p. 43-69.

43. Bilgin M. S. Vulnerability Maping Using Easy AHP, https://goo.gl/W4u3ce. (Accesat 21.07.2016).

44. Blanco H., Lal R. Principles of Soil Conservation and Management. New York: Springer, 2008. 617 p.

45. Boardman J., Poesen J. Soil Erosion in Europe. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2006. p. 479-487.

46. Boehner J., Selige, T. Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation In: Boehner J., McCloy K. R., Strobl J. SAGA - Analysis and Modelling Aplications, Goettinger Geographische Abhandlungen, 2006, Vol. 115, p. 13-27.

47. Boellstorff D., Benito G. Impacts of set-aside policy on the risk of soil erosion in central Spain. In: Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, Vol. 107 (2), p. 231–243.

48. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils, 12th Edition. Uper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1999. 881p.

49. Brown L. C., Foster G. R. Storm erosivity using idealized intensity distributions. In: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1987, Nr. 30, p. 379-386.

50. Burrough P. A., McDonnell R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford, UK: Oxford University Press, 1998. 333 p.

51. Carter C. E. et al. Raindrop characteristics in South Central United States. In: Am. Soc. Agric. Eng. Trans., 1974, Vol. 17, p. 1033-1037.

52. Cerdan O., et al. Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. In: Hydrological Processes, 2002, Nr. 16, p. 3215-3226.

53. Chemin Y. r.uslek - USLE Soil Erodibility Factor, GRASS Development Team, GRASS GIS 7.0.svn Reference Manual, 2011.

54. Cochrane T. A., Flanagan D. C. Assessing water erosion in small watersheds using WEP with GIS and digital elevation models. In: Journal of Soil Water Conservation, 1999, Nr. 54 (4), p. 678-685.

55. Conrad O. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. In: Geoscientific Model Development, 2015, Nr. 8, p. 1991-2007.

56. Cooper K. Evaluation of the relationships between the RUSLE R-factor and mean annual precipitation, 2011, https://goo.gl/81Dbqw (Accesat: 04.05.2016).

57. Costa-Cabral M. C., Burges S. J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. In: Water Resour. Res., 1994, Vol. 30 (6), p. 1681-1692, DOI: 10.1029/93WR03512.
58. Costea M. Using the Fournier Indexes in Estimating Rainfall Erosivity. Case Study - The Secașul Mare Basin. In: Aerul și Apa: Componente ale Mediului, 2012, Cluj University Press, https://goo.gl/nMhgn6 (Accesat: 05.05.2016).
59. De Jong S. M. Aplications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment. In: Neth. Geograph. Stud., 1994, Vol. 177, 237 p.
60. De Jong S. M. et al. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. In: Catena, 1999, Nr. 37, p. 291-308.
61. De Mers M. Fundamentals of Geographic Information Systems. New York: John Wiley, 2000. 480 p.
62. De Roo A. P. J. The LISEM project: an introduction. In: Hydrological Processes, 1996, No. 10 (8), p. 1021-1025.
63. De Rosa P. Analisi e confronti di modelli di erosione del suolo e trasporto di sedimenti tramite l'uso di sistemi G.I.S. Tesi di laurea a.a. 2004/2005, Università degli studi di Perugia, 2004. 115 p.
64. De Santos Loureiro N., De Azevedo Coutinho M. A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and aplied to the Algarve region, Portugal, In: Journal of Hydrology, 2001, Vol. 250 (1-4), p. 12-18.
65. De Vente J., Poesen J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. In: Earth-Science Reviews, 2005, Nr. 71, p. 95-125.
66. Desmet P., Govers G. Comparisons of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. In: International Journal of Geographical Information Systems, 1996, Nr. 10, p. 311-331.
67. Dikau R., Brabb E. E., Mark R. M. Landform classification of New Mexico by computer, U.S. Dept Interior, U.S. Geological Survey. Open-file report 91-634, 1991. 16 p.
68. Eckelmann, W. et al. Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. European Soil Bureau Research Report No. 20. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 94 p.
69. Ekern P. C. Raindrop impact as the force initiating soil erosion. Madison: University of Wisconsin, 1950. 162 p.

70. El-Swaify S.A., Dangler E.W. Erodibility of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: Soil Erosion: Prediction and Control. Proceedings National Soil Erosion Conference at Purdue University, May 24-26, 1976. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, p. 105–114.
71. Elwell H. A. A soil loss estimation technique for southern Africa. In: Soil Conservation: Problems and Prospects. R.P.C. Morgan (ed.). Chichester, UK: John Wiley, 1981. p. 281-292.
72. Erosion and Sedimentation Manual. United States Bureau of Reclamation. Denver Office. Technical Service Center, Government Printing Office, 2006, 601 p.
73. Ewen J., Parkin G., O'Connell P. E. SHETRAN: Distributed River Basin Flow and Transport Modelling System. In: ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 2000, Nr. 5, p. 250-258.
74. Favis-Mortlock D. T. et al. Emergence and erosion: a model for rill initiation and development. In: Hydrological Processes, 2000, Nr. 14 (11-12), p. 2173-2205.
75. Ferro V., Minacapilli M. Sediment delivery processes at basin scale. In: Hydrological Science Journal, 1995, Nr. 40 (6), p. 703-717.
76. Flanagan D. C., Nearing M. A. (Eds.) USDA Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. Western Lafayette: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, NSERL Report No. 10, 1995. 296 p.
77. Florinsky I. V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models. In: International Journal of Geographical Information Science, 1998, Nr. 12, p. 47-61.
78. Florinsky I. V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. Amsterdam: Elsevier / Academic Press, 2012. 379 p.
79. Folly A., Bronsveld M. C., Clavaux M. A knowledge - based aproach for C-factor maping in Spain using Landsat TM and GIS. In: International Journal of Remote Sensing, 1996, Vol. 17 (12), p. 2401-2415.
80. Forgy E.W. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications. In: Biometrics, 1965, Nr. 21, p. 768-769.
81. Foster G. R. et al. Conversion of the universal soil less equation to SI metric units. In: J. Soil. Water Conserv., 1981, Vol. 36, p. 355-359.
82. Foster G. R., Meyer L. D. Mathematical simulation of upland erosion using fundamental erosion mechanics. In: Present and Predictive Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, Report No. ARS-S-40, USDA, Agric. Res. Serv., Washington, DC, 1975, p. 177-189.
83. Foster G. R., Meyer, L. D., Onstad, C. A. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil-loss estimates. In: Trans. Am. Soc. Agric. Engrs, 1977, p. 683-687.

84. Foster I. D. L., Walling D. E., Owens P. Sediment yields and budgets in the Start valley. In: A Field Guide to the Geomorphology of the Slapton Region, 1993, p. 23-30.
85. Fu B. J. et al. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. In: Land Degrad. Dev., 2005, Vol. 16, p. 73-85.
86. Gallant J. C., Hutchinson M. F. A differential equation for specific catchment area. In: Water Resouces Research, 2011, Vol. 47, DOI: 10.1029/2009WR008540.
87. Gobin A. et al. Assessment and Reporting on Soil Erosion. Background and workshop report: European Environment Agency, 2002, https://goo.gl/4e8zi9.
88. Gobin A., Govers G., Kirkby M. Pan-European soil erosion assessment and maps. In: J. Boardman, J. Poesen (Eds.), Soil erosion in Europe. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2006. p. 661-674.
89. Goodchild M. F. Geographic information system. In: A. Goudie (Ed.) Encyclopedia of Global Change. New York: Oxford University Press, 2001. https://goo.gl/WXBHDN.
90. Govers G., Rauws G. Transporting Capacity of Overland Flow on Plane and on Irregular Beds. In: Earth Surface Processes and Landfoms, 1986, Vol. 11, p. 515-524.
91. Grimm M., Jones J., Montanarella L. Soil Erosion Risk in Europe. Ispra. Italy: European Soil Bureau. Institute for Environment & Sustainability. European Commission Joint Research Centre, 2002. p. 44.
92. Guidelines for Sediment Control Practices in the Insular Caribbean. CEP Technical Report No. 32. Kingston, Jamaica: UNEP Caribbean Environment Programme, 1994, 58 p.
93. Guisan A., Weiss S. B., Weiss A. D. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. In: Plant Ecology, 1999, Nr. 143, p. 107-122.
94. Gunn R., Kinzer G. D. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. In: Journal of Meteorology, 1949, Nr. 6, p. 243-248.
95. Haan C. T., Barfield B. J., Hayes J. C. Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. San Diego: Academic Press, 1994. 588 p.
96. Hammond E. H. Analysis of proprieties in land form geography: an aplication to broad – scale land form maping. In: Analysis of the Assotiation of American Geographiers, 1964, Nr. 54, p. 11-19.
97. Hijmans R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. In: International Journal of Climatology, 2005, Nr. 25, p. 1965-1978.
98. Hillel D. Introduction to soil physics. In: Academic Press Limited, Oval Road, London, 1982, p. 24-28.

99. Jasinski M. F. Sensitivity of the normalized difference vegetation index to subpixel canopy cover, soil albedo, and pixel scale. In: Remote Sensing of Environment, 1990, Vol. 32, p. 169-187.
100. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, Vol. 54 (11), p. 1593-1600.
101. Julien P. Y., Saghafian B. CASC2D User's manual: A two dimensional watershed rainfall-runoff model. Fort Collins, Colorado, USA: Center for Geosciences - Hydrologie Modelling Group, Colorado State University, 1991. 70 p.
102. Karaburun A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed, In: Ozean Journal of Aplied Sciences, 2010, Vol. 3, (1), 77-85 p.
103. Karydas C.G., Sekuloska T., Silleos G.N. Quantification and site-specification of the suport practice factor when maping soil erosion risk associated with olive plantations in the Mediterranean island of Crete. In: Environ. Monit. Assess., 2009, Nr. 149 (1–4) p. 19–28.
104. Karydas Ch. G., Panagos P., Gitas I. Z. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. In: International Journal of Digital Earth, 2014, Nr. 7 (3), p. 229-250.
105. Kavouras M. Understanding and modelling spatial change. In: Life and Motion of Socio-Economic Units, 2001, Vol. 8 of GISDATA Series, Chapter 4, p. 42-52.
106. Kinnell P. I. A. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. In: Hydrological Processes, 2005, No. 19: p. 2815-2844.
107. Kinnell P. I. A. Rainfall intensity kinetic-energy relationships for soil loss prediction. In: Soil Science Society of America Journal, 1981, Nr. 45 (1), p. 153-155.
108. Kirkby M. J. et al. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004. p.
109. Krysanova V. et al. SWIM (Soil and Water Integrated Model). User Manual, PIK report 69, Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2000. 239 p.
110. Laws J. O., Parsons D. A. The relation of raindrop size to intensity. In: Transactions of American Geophysics Union, 1943, Vol. 24, p. 452-460.
111. Lillesand T. M, Kiefer R. W., Chipman J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2004. 612 p.

112. Lin C. Y., Lin W. T., Chou W. C. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. In: Soil and Tillage Research, 2002, Vol. 68 (2), p. 143-152.
113. Lopez-Vicente M., Navas A. Predicting soil erosion with RUSLE in Mediterranean agricultural systems at catchment scale. In: Soil Sci., 2009, Vol. 174 (5), p. 272-282.
114. Lowry I. S. A Short Course in Model Design. In: Journal of the American Institute of Planners, 1965, Vol. 31, p. 158-166.
115. Malczewski J. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Aproaches. In: Transactions in GIS, 2000, Vol. 4 (1), p. 5-22.
116. McCool D. K. et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. In: Transactions of the ASAE, 1989, Vol. 32 (5), p. 1571-1576.
117. Medvedeva N., Chemin Y. r.usler - Rainfall erosivity index, GRASS Development Team, GRASS GIS 7.0.svn Reference Manual, 2011.
118. Merritt W. S., Letcher R. A., Jakeman A. J. A Review of Erosion and Sediment Transport Models. In: Environmental Modelling & Software, 2003, Vol. 18, No. 8-9, p. 761-799.
119. Meyer L. D. How rain intensity affects interrill erosion. In: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1981, No. 24 (6). p. 1472-1475.
120. Meyer L. D., Wischmeier W. H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. In: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1969, Nr. 12: p. 754-755.
121. Mitas L., Mitasova H. Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. In: Water Resources Research, 1998, Vol. 34, No. 3, p. 505-516.
122. Mitasova H. et al. Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS. In: International Journal of GIS, 1995, Vol. 9 (4), Sp. issue on integration of Environmental modeling and GIS, p. 443-446.
123. Mitasova H. et al. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. In: International Journal of Geographical Information Science, 1996, Nr. 10 (5), p. 629-641.
124. Mitasova H., Mitas L. Multiscale soil erosion simulations for land use management, In: Landscape erosion and landscape evolution modeling, Harmon R., Doe W. (Eds.): Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001. p. 321-347.
125. Moore I. D. et al. Terrain analysis for soil specific crop management. In: Proceedings of first workshop, soil specific crop management, 1993, Soil Science Society of America, Madison, USA, p. 27-55.

126. Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological aplications. In: Hydrological Processes, 1991, Vol. 5, no. 1, 3-30 p.
127. Moore I. D., Nieber J. L. Landscape assessment of soil erosion and nonpoint source pollution. In: J. Minnesota Acad. Sci., 1991, Vol. 55, p. 18-25.
128. Moore I. D., Wilson J. P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. In: Journal of Soil and Water Conservation, 1992, Nr. 47, p. 423-428.
129. Moore I., Burch G. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. In: Soil Society of America Journal, 1986, No. 50, p. 1294-1298.
130. Morgan R. P. C. A simple aproach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. In: Catena, 2001, Nr. 44, p. 305-322.
131. Morgan R. P. C., Nearing M. Handbook of Erosion Modelling, Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011.
132. Morgan, R. P. C et al. The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based aproach for predicting sediment transport from fields and small catchments. In: Earth Surface Processes and Landforms, 1998, No. 23, p. 527-544.
133. Nearing M. A., Lane L. J., Lopes V. L. Modelling soil erosion. In: Lal R. (Ed.) Soil Erosion Research Methods. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society, 1994. p. 127-156.
134. Nearing M.A. et al. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology. In: Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 1989, 32, p. 1587-1593.
135. Neteler M., Mitasova H. Open Source GIS: A GRASS GIS Aproach. New York: Springer, 2008. 406 p.
136. Nord G., Esteves M., PSEM 2D: A physically based model of erosion processes at the plot scale. In: Water Resources Research, 2005, Nr. 41 (8), 14 p.
137. Oldeman L. R., Hakkeling R. T. A., Sombroek W.G. World map of the status of human-induced soil degradation. A explanatory note. Nairobi: ISRIC and UNEP, 1991. 34 p.
138. Oliver J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. In. Professional Geographer, Vol. 32, 1980, p. 300-309.
139. Panagos P. et al. Modelling the effect of suport practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. In: Environmental Science & Policy, 2015, Vol. 51, p. 23-34.

140. Panagos P. et al. Monthly Rainfall Erosivity: Conversion Factors for Different Time Resolutions and Regional Assessments, In: Water, 2016, Vol. 8, 119; doi:10.3390/w8040119.
141. Panagos P. et al. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. In: Science of the Total Environment, 2014, 479-480, p. 189-200.
142. Pelling M. et al. Reducing Disaster Risk: a challenge for development. A global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery , USA: John S. Swift Co., 2004. 146 p.
143. Petkovšek G., Mikoš M. Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia. In: Hydrological Sciences Journal, 2004, Nr. 49 (5), p. 869-877.
144. Proiectul RAMSOL. Metodologii de evaluare a riscului la degradare agrofizică, Raport de cercetare: ICPA București, http://bit.ly/2gPGgkd (Vizitat 18.05.2015).
145. Pullar D., Springer D. Towards integrating GIS and catchment models. In: Environmental Modelling & Software, 2000, No. 15, p. 451-459.
146. Quinn P. et al. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. In: Hydrol. Process, 1991, p. 59-79.
147. Renard K. G. et al. (ed) Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agr. handbook No. 703. Washington: USDA, 1997, 384 p.
148. Renard K.G., Freimund J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. In: Journal of Hydrology, Elsevier Science B.V., Nr. 157, 1994, p. 287-306.
149. Roose E. Land husbandry - Components and strategy, FAO Soils Bulletin 70: FAO, 1996. p. 392.
150. Rose C.W. Erosion and sedimentation. In: Bonell M., Hufschmidt M.M., Gladwell J.S. (Eds.), Hydrology and Water Management in the Humid Tropics: Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management. Cambridge University Press, 1993, p. 301-343.
151. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. In: Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008, p. 83-98
152. Saavedra C. Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques. A case study in Cochabamba, Bolivia. Thesis to fulfil the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy on the authority of the Rector Magnificus of Wageningen University. The Netherlands, 2005. 245 p.
153. Savat J. Resistance to Flow in Rough Supercritical Sheet Flow. In: Earth Surface Processes and Landforms, 1980, Vol. 5, p. 103-122.

154. Schaetzl R. J., Anderson S., Soils Genesis and Geomorphology. New York: Cambridge University Press, 2005. 799 p.
155. Schmidt J., Manersberger F. Sensitivity analysis of wind effects on soil erosion by water using the EROSION2D model. Kiel: Sino German Workshop on Effect of Land use and Management System on Soil and Environment, 2004.
156. Schmidt J., Werner M. V., Michael A. Aplication of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed. In: Catena, 1999, Nr. 37, p. 449-456.
157. Scrinzi G. et al. Un modello di valutazione della funzionalità protettiva del bosco per la pianificayione forestale: la componente stabilità dei versanti rispetto ai fenomeni franosi superficiali. In: Forest (Review of Italian Society of Silviculture and Forest Ecology), 2006, Vol. 3, Iss. 1, p 98-155.
158. Sepelt R., Voinov Al. Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models. In: Ecological Modelling, 2002, Vol. 151 (2), Elsevier, p. 125-142.
159. Serra P., Pons X., Sauri D. Land-cover and land use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human forces. In: Aplied Geography, 2008, Vol. 28 (3), p. 189-209.
160. Sharma K. D., Murthy J. S. R., Dhir R. P. Modeling sediment delivery in arid upland basins. In: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1996, No. 39. p. 517-524.
161. Sivapalan M., Viney N., Zammit C., LASCAM: large scale catchment model (Chapter 14). In: Singh V. P., Frevert D. K. (Eds.) Mathematical models of large watershed hydrology. Colorado, USA: Water Resources Publications, 2002. 579-648 p.
162. Sowa J. F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing, 2000. 594 p.
163. Sørensen R., Zinko U., Seibert J. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. In: Hydrology and Earth System Sciences, 2006, Vol. 10, p. 101-112.
164. Speight J. G. A parametric aproach to landform regions. In: Progress in Geomorphology, 1974, p. 213-230.
165. Stângă Iu. C., Minea I. Soil vulnerability to erosion in relation to their analytical properties, In: International Conference Disaster and pollution monitoring, 18-20 november 2004, Ed. Performantica, Iași, 2004, p. 381-390.

166. Stevens C. J. et al. The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss. In: Soil Till. Res., 2009, Vol. 106 (1), p. 145-151.
167. Stone R. P., Hilborn D. Universal Soil Loss Equation (USLE). Guelph: OMAFRA, 2000, http://bit.ly/2vI1UcG.
168. Strand R. I. Bureau of Reclamation Procedures for Predicting Sediment Yield. In: Present and Prospective Technology, jbr Predicting Sediment Yields and Sources, Proceedings of the Sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississipi, November 28-30, 1972.
169. Sui D. Z., Maggio R.C. Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects. In: Computers, Environment and Urban Systems, 1999, No. 23, p. 33-51
170. Terranova, O. et al. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an aplication model for Calabria (southern Italy). In: Geomorphology, 2009, Vol. 112, p. 228-245.
171. Thomas R. W., Huggett R. J. Modelling in Geography: A Mathematical Aproach. New Jersey: Barnes and Noble, 1980. 339 p.
172. Thorne C. R. et al. Ephemeral gully as source of sediment. In: Proceedings 4th Interagency Sedimentation Conference (Las Vegas, Nevada, March 1986), 1986, Vol. 1, p. 3-152.
173. Tim U.S. Coupling vadose zone models with GIS: Emerging trends and potential bottlenecks. In: Journal of Environmental Quality, 1996, No. 25, p. 535-544.
174. Tirkey A. S., Pandey A.C., Nathawat M.S. Use of Satellite Data, GIS and RUSLE for Estimation of Average Annual Soil Loss in Daltonganj Watershed of Jharkhand (India). In: Journal of Remote Sensing Technology, 2013, Vol. 1, Iss. 1, p. 20-30.
175. Toy T. J., Foster G. R., Renard K. G. Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control: John Wiley and Sons, Inc, 2002. 352 p.
176. US EPA. BASINS 4.1 (Better Assessment Science Integrating point & Non-point Sources) Modeling Framework. National Exposure Research Laboratory, RTP, North Carolina, 2015, https://goo.gl/maffeF (Vizitat 21.09.2016).
177. Van der Knijff J. M., Jones R. J. A., Montanarella L. Soil erosion risk assessment in Italy. Ispra: JRC, European Soil Bureau, 1999. 52 p.
178. Van Oost K., Govers G., Desmet P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. In: Landscape Ecology, 2000, Nr. 15, p. 577-589.
179. Van Rompaey A. J. J. et al. Modelling mean annual sediment yield using a distributed aproach. In: Earth Surface Processes and Landforms, 2001, Nr. 26, p. 1221-1236.

180. Verhaegen T. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loaming soils: a study based on rainfall simulation experiments. In: Earth Surface Processes and Landforms, 1984, Vol. 9, p. 499-508.
181. Wang G. et al. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: A case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. In: Ecol. Model., 2002, Vol. 153, p. 143-155.
182. Wicks J. M., Bathurst J. C. SHESED: A physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system. In: Journal of Hydrology, 1996, Amsterdam, Nr. 175, p. 213-238.
183. Wilson J. P., Gallant J. C. Digital Terrain Analysis. In: Wilson J. P., Gallant J. C. Terrain Analysis: Principles and Aplications. New York: John Wiley & Sons, 2000. p. 1-27.
184. Wilson J. P., Gallant J. C. Terrain-Based Aproaches to Environmental Resource Evaluation. In: Landform Monitoring Modeling and Analysis. London: John Wiley and Sons, 1998, p. 219-240.
185. Wischmeier W. H., Johnson C. B., Cross B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. In: Journal of Soil and Water Conservation, 1971, Vol. 26, p. 189-192.
186. Wischmeier W. H., Mannering J. V. Relation of soil properties to its erodibility. In: Soil Science Society of American Journal, 1969, Vol. 33 (1), p. 131-137.
187. Wischmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Agr. handbook No. 537. Washington: USDA, 1978, 60 p.
188. Wischmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agr. Handbook No. 282. Washington: USDA, 1965, 49 p.
189. Wischmeier W. H., Smith D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. In: Transactions of American Geophysical Union, 1958, Vol. 39, Issue 2, p. 285-291.
190. Woolhiser D. A., Smith R. E., Goodrich D. C. KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1990. 141 p.
191. Yang C. T. Incipient Motion and Sediment Transport. In: Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1973, Vol. 99, Nr. 10, p. 1679-1704.
192. Yang C. T. Potential Energy and Stream Morphology. In: Water Resources Research, 1971, Vol. 7, Nr. 2, p. 311-322.
193. Yang C. T., Song C. C. S., Woldenberg M. J. Hydraulic Geometry and Minimum Rate of Energy Dissipation. In: Water Resources Research, 1981, Vol. 17, Nr. 4, p. 1014-1018.

194. Yin S. et al. Estimation of rainfall erosivity using 5- to 60-minute fixed-interval rainfall data from China. In: Catena, 2007, Nr. 70, 3, p. 306-312.
195. Young R. A. et al. AGNPS: a non-point source pollution model for evaluating agricultural watersheds. In: Journal of Soil and Water Conservation, 1989, Nr. 44 (2), p. 168-173.
196. Yu B., Rosewell C. J. Technical Notes: A Robust Estimator of the R Factor for the Universal Soil Loss Equation. In: Transactios of the American Society of Agricultural Engineers, 1996, Vol. 39: p. 559-561.
197. Zachar D. Soil erosion. Developments in Soil Science 10. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1982. 547 p.
198. Zhang W., Montgomery D. R. Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulations. In: Water Resources Research, 1994, Nr. 30, p. 1019-1028.

ANEXE

Corespondențele unităților de măsură în Sistemul anglo-saxon și SI [188, 81]

	Termenul	Unități anglo-saxone	Unități SI	Simbol	Coeficient de conversie
1	A	$\frac{ton}{acre}$	$\frac{metric_ton}{hectare}$	$\frac{t}{ha}$	2,242
2	A	$\frac{ton}{acre}$	$\frac{kilogram}{meter^2}$	$\frac{kg}{m^2}$	0,2242
3	R (EI)	$\frac{100\, foot-ton \times inch}{acre \times hour}$	$\frac{megajoule \times centimeter}{hectare \times hour}$	$\frac{MJcm}{hah}$	1,702
4	R (EI)	$\frac{100\, foot-ton \times inch}{acre \times hour}$	$\frac{megajoule \times milimeter}{hectare \times hour}$	$\frac{MJmm}{hah}$	17,02
5	R (EI)	$\frac{foot-ton \times inch}{acre \times hour}$	$\frac{megajoule \times milimeter}{hectare \times hour}$	$\frac{MJmm}{hah}$	0,1702
6	E	$\frac{100\, foot-ton}{acre}$	$\frac{megajoule}{ha}$	$\frac{MJ}{ha}$	0,670
7	E	$\frac{foot-ton}{acre}$	$\frac{megajoule}{ha}$	$\frac{MJ}{ha}$	0,006701
8	I_{30}	$\frac{inch}{hour}$	$\frac{centimeter}{hour}$	$\frac{cm}{h}$	2,540
9	I_{30}	$\frac{inch}{hour}$	$\frac{milimeter}{hour}$	$\frac{mm}{h}$	25,40
10	K	$\frac{0{,}01 ton \times acre \times hour}{acre \times foot-ton \times inch}$	$\frac{metric_ton \times hectare \times hour}{hectare_megajoule \times centimeter}$	$\frac{thah}{haMJcm}$	1,313
11	K	$\frac{ton \times acre \times hour}{100 acre \times foot-ton \times inch}$	$\frac{metric_ton \times hectare \times hour}{hectare \times megajoule \times milimeter}$	$\frac{thah}{haMJmm}$	0,1317
	L, S, C, P	adimensionali	adimensionali		

A 2.1

Stațiile meteorologice luate în calculul erozivității precipitațiilor

ID	Stația	Început	Sfârșit	Ani	Latitudine	Longitudine	Elevație, m	Număr mediu anual de evenimente pentru lunile aprilie - octombrie
1	Bălțata	1993	2008	16	47,058	29,013	81,9	24
2	Bravicea	1993	2014	22	47,360	28,411	241,8	30
3	Briceni	1999	2012	14	48,362	27,099	214,5	31
4	Cahul	1993	2015	23	45,900	28,189	29,8	25
5	Ceadâr-Lunga	1993	2014	22	46,064	28,813	81,4	24
6	Chișinău	1984	2016	33	47,025	28,848	59,6	27
7	Codri	1996	2016	21	47,123	28,385	236,5	27
8	Comrat	1993	2016	24	46,296	28,655	65,1	24
9	Cornești	1993	2016	24	47,369	28,002	243,9	29
10	Dubăsari	1994	2016	23	47,275	29,145	45,4	26
11	Fălești	1993	2007	15	47,573	27,712	112,3	32
12	Râbnița	1994	2016	23	47,753	29,000	35,2	26
13	Soroca	1993	2015	23	48,163	28,291	143,3	26
14	Ștefan Vodă	1993	2014	22	46,519	29,659	166,1	26
15	Tiraspol	1994	2016	23	46,850	29,629	32,8	24

A 2.2

Caracteristici ale precipitațiilor înregistrate la stațiile meteorologice

ID	Stația	Durata precipitațiilor în lunile aprilie-octombrie, h	Cantitatea precipitațiilor în lunile aprilie-octombrie, mm	Cantitatea anuală de precipitații, mm	Intensitatea medie anuală a precipitațiilor, mm/h
1	Bălțata	98	251	500	3,8
2	Bravicea	123	300	568	4,4
3	Briceni	125	316	616	4,2
4	Cahul	93	267	514	4,7
5	Ceadâr-Lunga	80	237	466	6,3
6	Chișinău	122	281	547	4,1
7	Codri	109	286	631	6,7
8	Comrat	83	233	494	5,7
9	Cornești	120	299	619	4,5
10	Dubăsari	87	242	537	5,4
11	Fălești	125	336	567	4,3
12	Râbnița	82	259	524	5,4
13	Soroca	108	267	539	4,7
14	Ștefan Vodă	109	261	542	4,0
15	Tiraspol	70	232	505	7,6

A 2.3

Numărul de evenimente pluviometrice pentru 15 stații pentru perioada 1993-2016 (lunile aprilie-octombrie)

Anul	Bălțata	Bravicea	Briceni	Cahul	Ceadâr-Lunga	Chișinău	Codri	Comrat	Cornești	Dubăsari	Fălești	Râbnița	Soroca	Ștefan Vodă	Tiraspol
1993	13	17	n/a	18	19	21	n/a	16	21	n/a	15	n/a	22	14	n/a
1994	21	21	n/a	21	20	24	n/a	16	22	21	27	22	23	28	20
1995	28	36	n/a	27	22	33	n/a	20	33	28	39	24	15	28	23
1996	26	35	n/a	23	22	22	33	18	27	26	39	24	23	24	23
1997	38	50	n/a	38	36	39	36	33	35	38	36	27	33	36	33
1998	32	35	n/a	27	33	36	25	27	32	27	42	39	23	27	29
1999	20	28	24	30	23	22	28	15	32	14	37	14	14	26	25
2000	18	18	26	16	20	19	22	16	21	20	29	22	24	25	22
2001	23	20	27	23	20	15	19	15	26	25	25	29	27	17	23
2002	34	31	34	26	24	30	27	28	32	33	33	33	36	19	34
2003	24	29	25	25	19	30	21	31	27	28	25	15	29	32	23
2004	26	26	34	24	28	23	25	25	26	27	32	24	23	20	25
2005	22	25	32	21	27	29	31	29	30	31	37	29	25	26	27
2006	38	36	50	24	25	40	29	24	33	31	31	41	32	25	23
2007	18	32	22	23	25	23	19	23	37	17	28	21	26	25	19
2008	5	35	19	25	26	16	32	29	38	31	n/a	31	35	29	28
2009	n/a	50	63	45	25	25	19	24	19	17	n/a	16	20	32	20
2010	n/a	32	27	25	38	36	53	32	44	36	n/a	38	42	34	22
2011	n/a	29	31	27	12	30	29	25	27	24	n/a	31	19	28	29
2012	n/a	29	25	26	26	31	34	25	28	23	n/a	23	34	18	17
2013	n/a	26	n/a	30	12	25	32	34	37	37	n/a	28	23	31	31
2014	n/a	17	n/a	15	20	30	29	29	28	25	n/a	33	32	20	21
2015	n/a	n/a	n/a	21	n/a	17	16	15	19	18	n/a	2	17	n/a	15
2016	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	21	17	16	27	20	n/a	30	n/a	n/a	22
Număr mediu anual de evenimente	24	30	31	25	24	27	27	24	29	26	32	26	26	26	24

A 2.4

Numărul total de evenimente pe luna respectivă, pentru perioada luată în studiu

	Aprilie	**Mai**	**Iunie**	**Iulie**	**August**	**Septembrie**	**Octombrie**	**Noiembrie**
Bălțata	8	56	79	82	75	59	27	
Bravicea	46	104	135	141	87	93	51	
Briceni	16	76	105	95	62	50	35	
Cahul	32	93	125	101	98	82	49	
Ceadâr-Lunga	18	86	120	91	88	69	50	
Chișinău	72	164	168	176	134	109	84	
Codri	23	111	109	126	90	70	45	2
Comrat	23	93	120	107	92	84	46	
Cornești	31	124	146	150	110	88	52	
Dubăsari	62	115	132	116	94	75	3	
Fălești	25	56	88	113	91	65	35	2
Râbnița	48	108	141	123	95	81		
Soroca	24	85	115	149	100	82	42	
Ștefan Vodă	33	92	132	115	72	78	42	
Tiraspol	53	94	113	124	80	88	2	

A 2.5

Durata precipitațiilor (ore) pentru 15 stații pentru perioada 1993-2016 (lunile aprilie-octombrie)

Anul	Bălțata	Bravicea	Briceni	Cahul	Ceadâr-Lunga	Chișinău	Codri	Comrat	Cornești	Dubăsari	Fălești	Râbnița	Soroca	Ștefan Vodă	Tiraspol
1993	62,7	89,3	n/a	54,0	58,8	91,5	n/a	46,8	95,8	n/a	83,8	n/a	91,3	44,0	n/a
1994	87,2	118,0	n/a	78,5	74,8	91,8	n/a	68,5	90,5	77,7	92,7	73,2	98,5	105,0	55,7
1995	91,3	155,8	n/a	96,5	74,7	96,5	n/a	73,8	139,8	84,5	162,5	85,2	94,8	100,0	65,8
1996	142,0	222,0	n/a	128,7	122,8	162,8	119,0	126,0	119,8	148,8	218,3	104,2	76,0	142,5	101,3
1997	148,8	186,3	n/a	164,5	124,7	132,5	136,8	94,7	117,2	107,7	116,3	71,0	115,3	151,0	106,0
1998	163,2	183,8	n/a	97,3	117,2	168,0	149,7	84,2	184,5	107,3	190,3	106,8	155,5	148,0	89,8
1999	55,5	68,2	77,8	99,0	61,7	67,5	85,2	34,3	106,3	27,7	115,0	34,8	43,0	90,8	60,3
2000	81,0	70,5	105,2	68,8	69,5	71,8	91,0	48,2	76,5	67,5	86,5	60,0	76,7	105,2	62,8
2001	96,8	102,0	161,3	102,5	106,0	102,5	104,5	34,3	116,8	98,3	100,7	93,7	125,5	91,8	82,7
2002	117,8	100,3	139,3	70,7	39,8	93,5	81,5	64,3	105,5	92,3	108,7	80,7	147,3	54,5	54,7
2003	80,7	108,8	97,5	98,2	48,7	109,2	110,8	113,5	98,0	71,2	89,0	34,7	101,3	118,7	49,7
2004	108,5	120,0	143,0	100,7	111,0	121,3	139,3	101,3	140,3	95,7	129,5	102,7	117,7	123,5	77,8
2005	106,0	145,0	170,7	73,5	103,8	147,8	181,8	130,2	171,3	119,8	177,0	115,0	117,5	100,2	86,0
2006	140,5	127,0	193,8	71,8	80,0	161,5	121,8	77,2	150,3	105,5	100,5	136,2	136,8	122,0	87,7
2007	63,3	115,3	82,8	84,5	64,2	105,3	87,0	75,2	113,5	48,3	106,5	48,2	92,3	89,0	34,3
2008	19,7	132,3	69,8	94,8	82,2	55,2	138,5	92,5	185,5	101,3	n/a	93,2	181,3	106,2	85,8
2009	n/a	174,0	203,2	164,7	76,0	63,2	59,2	56,3	66,5	31,3	n/a	32,7	48,2	117,0	39,7
2010	n/a	133,2	94,5	111,3	161,0	209,0	178,7	161,3	189,2	127,7	n/a	116,3	201,7	193,7	82,7
2011	n/a	91,3	101,0	93,3	37,8	168,7	123,7	105,8	107,5	101,7	n/a	120,7	107,0	148,5	118,7
2012	n/a	101,0	105,3	91,2	68,3	98,3	106,7	80,3	108,8	56,0	n/a	49,8	105,0	71,2	33,3
2013	n/a	113,5	n/a	82,3	27,3	96,2	78,7	128,0	137,7	99,5	n/a	86,2	77,3	115,7	79,8
2014	n/a	46,7	n/a	48,2	39,7	131,5	90,8	99,3	104,2	85,0	n/a	123,3	131,3	66,2	49,2
2015	n/a	n/a	n/a	55,2	n/a	51,2	48,3	39,8	58,7	72,8	n/a	11,0	53,0	n/a	38,5
2016	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	109,8	60,8	64,7	85,8	74,8	n/a	98,8	n/a	n/a	73,0
Durata medie anuală a precipitațiilor	98	123	125	93	80	122	109	83	120	87	125	82	108	109	70

A 2.6

Cantitatea anuală de precipitații (mm) pentru 15 stații pentru perioada 1993-2016 (lunile aprilie-octombrie)

Anul	**Bălțata**	**Bravicea**	**Briceni**	**Cahul**	**Ceadâr-Lunga**	**Chișinău**	**Codri**	**Comrat**	**Cornești**	**Dubăsari**	**Fălești**	**Râbnița**	**Soroca**	**Ștefan Vodă**	**Tiraspol**
1993	199,2	235,0	n/a	166,6	180,7	247,5	n/a	146,9	282,0	n/a	304,4	n/a	241,3	121,3	n/a
1994	174,7	259,9	n/a	244,2	299,1	283,5	n/a	203,3	185,7	236,3	232,9	353,5	219,6	264,2	240,7
1995	329,5	392,9	n/a	197,6	196,1	452,1	n/a	206,4	378,7	329,7	463,4	284,8	311,1	268,0	280,1
1996	231,4	384,8	n/a	316,6	148,6	330,4	390,3	213,1	313,0	269,8	495,3	238,8	247,3	252,9	129,9
1997	370,3	410,7	n/a	529,4	378,6	333,5	311,4	335,7	277,4	334,2	257,7	232,5	337,8	401,2	383,1
1998	405,1	435,8	n/a	304,7	292,7	463,9	369,6	215,5	456,6	277,7	438,1	341,4	364,9	309,3	304,0
1999	191,9	278,0	218,7	359,0	281,7	162,5	332,7	157,5	299,7	115,8	308,8	83,0	130,6	331,6	235,9
2000	145,1	139,8	241,3	122,5	214,6	158,8	206,0	137,5	207,4	173,3	242,9	187,6	212,0	249,1	262,8
2001	376,6	284,1	355,0	377,1	262,1	329,3	341,2	115,3	325,1	322,8	269,8	287,8	188,9	182,2	207,3
2002	292,2	251,7	320,4	282,4	229,9	288,7	297,4	356,7	298,0	314,9	469,8	277,9	296,8	230,2	352,5
2003	198,0	239,6	366,3	230,9	241,2	219,1	282,6	203,8	231,0	177,9	256,3	108,0	325,1	274,3	145,5
2004	246,8	287,6	264,6	273,3	273,1	256,2	287,5	244,2	363,4	323,4	360,2	311,9	481,2	248,9	290,6
2005	301,9	390,3	385,8	189,4	222,5	376,4	321,6	298,9	332,2	274,3	455,1	261,4	202,9	202,0	269,6
2006	359,9	292,3	433,1	238,4	295,8	345,0	226,5	164,8	321,7	285,2	213,9	404,4	242,4	246,0	218,2
2007	179,5	244,8	219,5	230,7	244,9	162,6	218,0	298,8	293,8	163,8	277,5	203,8	273,7	175,8	148,4
2008	17,6	268,2	162,0	172,7	219,9	201,8	340,5	268,7	415,5	258,8	n/a	349,6	449,8	271,4	292,5
2009	n/a	409,7	627,5	427,5	172,4	188,7	146,3	216,6	170,2	132,9	n/a	113,3	141,4	259,2	180,5
2010	n/a	371,4	242,9	255,0	390,6	385,2	412,8	309,0	351,2	367,6	n/a	372,3	447,0	341,3	229,0
2011	n/a	257,4	235,5	265,5	135,0	309,9	399,4	306,4	210,2	176,2	n/a	301,0	190,6	285,0	305,5
2012	n/a	371,8	347,7	404,2	230,7	263,3	232,7	256,0	221,5	222,9	n/a	182,0	191,9	247,9	161,3
2013	n/a	241,5	n/a	297,2	69,4	318,7	401,2	438,0	445,6	252,2	n/a	354,5	188,9	410,3	276,2
2014	n/a	155,1	n/a	127,8	229,6	296,4	188,4	229,8	301,5	258,9	n/a	340,0	377,8	169,9	161,9
2015	n/a	n/a	n/a	138,7	n/a	111,4	149,3	132,3	195,0	113,7	n/a	21,7	86,4	n/a	123,3
2016	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	283,5	150,1	126,2	303,1	175,7	n/a	336,2	n/a	n/a	144,8
Cantitatea de precipitații pe sezonul cald	251	300	316	267	237	281	286	233	299	242	336	259	267	261	232

A 2.7

Intensitatea medie a precipitațiilor (mm/h) pentru 15 stații pentru perioada 1993-2016 (lunile aprilie-octombrie)

Anul	**Bălțata**	**Bravicea**	**Briceni**	**Cahul**	**Ceadâr-Lunga**	**Chișinău**	**Codri**	**Comrat**	**Cornești**	**Dubăsari**	**Fălești**	**Râbnița**	**Soroca**	**Ștefan Vodă**	**Tiraspol**
1993	3,8	3,9	n/a	6,0	4,7	4,6	n/a	5,9	4,8	n/a	4,4	n/a	9,2	2,8	n/a
1994	3,0	3,7	n/a	5,7	4,6	3,9	n/a	4,7	2,9	4,5	4,4	6,9	6,7	3,8	6,7
1995	4,9	3,5	n/a	2,9	9,3	7,6	n/a	3,7	4,7	9,4	4,3	5,0	7,1	3,6	9,7
1996	2,7	4,3	n/a	6,7	1,7	3,2	32,9	2,8	4,8	3,5	3,5	3,4	5,4	4,4	2,8
1997	3,5	3,7	n/a	4,8	9,2	4,3	5,2	17,4	4,7	9,1	3,6	4,5	6,3	4,0	6,6
1998	5,3	3,8	n/a	4,3	5,2	3,9	5,8	4,1	5,0	5,8	3,2	4,6	4,8	3,2	15,0
1999	4,7	8,6	6,4	5,4	5,4	3,1	7,0	7,0	4,1	7,4	5,2	6,8	4,3	4,0	19,0
2000	2,9	4,9	3,1	2,1	3,7	4,6	5,7	13,6	5,3	4,6	3,9	4,9	3,8	4,5	7,5
2001	4,8	3,7	3,0	5,1	4,6	5,2	2,9	4,1	4,6	4,6	4,0	6,3	3,6	5,1	8,4
2002	3,2	3,0	4,9	5,3	7,2	5,1	4,8	6,9	4,8	6,6	6,8	5,3	3,1	6,9	10,7
2003	3,2	3,5	6,6	2,8	17,2	3,8	8,2	3,6	3,9	5,2	4,5	3,8	5,8	3,4	12,3
2004	4,3	3,9	3,0	4,1	10,0	3,8	3,3	4,1	4,0	6,1	5,5	4,4	4,4	3,7	7,2
2005	5,0	3,7	3,0	3,9	3,9	6,0	3,6	4,3	2,5	3,9	3,9	3,8	1,9	3,3	6,4
2006	3,9	4,0	3,6	4,5	5,8	3,1	2,9	3,1	3,8	4,6	3,0	6,1	4,0	3,8	4,2
2007	5,4	3,3	3,6	5,6	7,5	3,0	4,9	5,7	4,8	5,5	4,2	5,6	5,0	3,6	5,9
2008	0,9	3,8	3,3	2,7	5,8	5,8	5,2	4,9	4,7	3,8	4,3	4,3	3,9	3,6	4,3
2009	n/a	3,7	6,5	7,7	3,7	5,3	4,4	6,7	5,2	4,9	n/a	4,3	7,5	4,2	5,4
2010	n/a	5,1	4,4	3,1	4,9	3,8	4,7	3,9	3,8	5,7	n/a	6,0	5,3	2,7	5,1
2011	n/a	8,0	3,7	4,9	4,7	4,2	9,7	8,1	3,8	3,0	n/a	6,1	3,2	3,8	4,7
2012	n/a	6,5	4,3	6,1	5,9	4,4	4,7	4,6	3,7	9,5	n/a	6,8	4,4	4,1	6,8
2013	n/a	2,7	n/a	7,2	3,4	4,5	9,2	6,1	5,9	4,1	n/a	4,9	3,5	5,4	9,5
2014	n/a	5,2	n/a	3,6	9,2	4,4	3,0	3,9	4,2	5,0	n/a	3,8	3,6	4,2	5,1
2015	n/a	n/a	n/a	3,9	n/a	3,9	6,2	4,1	5,4	3,4	n/a	10,9	2,3	n/a	6,6
2016	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	4,6	7,3	3,1	5,9	3,3	n/a	5,0	n/a	n/a	4,7
Media	3,8	4,4	4,2	4,7	6,3	4,1	6,7	5,7	4,5	5,4	4,3	5,4	4,7	4,0	7,6

Parametrii topografici primari determinați prin analiza digitală a terenului [158, 126]

Nr	Parametrul	Definiție	Semnificația hidrologică
1	Altitudinea	Elevația reliefului	Climat, vegetație, energia potențială
2	Altitudinea zonei superioare de versant	Altitudinea medie a zonei bazinale superioare (caracteristică unui segment de curbă de nivel) de formare a scurgerii	Energia potențială
3	Expoziția	Direcția pantei	Radiația solară, evapotranspirația, distribuția și abundența florei și faunei, conținutul solului în apă
4	Panta	Înclinarea reliefului	Viteza și debitul scurgerii de suprafață și subterană, conținutul solului în apă, clasele de productivitate a terenului
5	Panta zonei superioare de versant	Panta medie a zonei bazinale superioare (caracteristică unui segment de curbă de nivel) de formare a scurgerii	Viteza scurgerii
6	Panta zonei inferioare de versant	Panta medie a zonei bazinale inferioare (caracteristică unui segment de curbă de nivel) de dispersie a scurgerii	Rata de drenaj a solului
7	Panta bazinului	Panta mede a bazinului hidrografic	Timpul de concentrare a scurgerii
8	Aria zonei superioare de versant (suprafața de formare a scurgerii)	Aria zonei bazinale superioare (caracteristică unui segment de curbă de nivel) de formare a scurgerii	Volumul scurgerii, rata de scurgere în stare laminară
9	Aria zonei inferioare de versant (suprafața de dispersie a scurgerii)	Aria zonei bazinale inferioare (caracteristică unui segment de curbă de nivel) de dispersie a scurgerii	Rata de drenaj a solului
10	Aria bazinală	Aria suprafeței drenată până la punctul de închidere	Volumul scurgerii
11	Aria bazinală specifică	Aria zonei superioare de versant pe unitatea de lungime a curbei de nivel	Volumul scurgerii, rata de scurgere in stare laminară, caracteristicile solului, conținutul în apă al solului
12	Lungimea căilor de curgere	Distanța maximă de curgere a apei până la un punct din bazin	Rata de eroziune, încărcarea cu sedimente, timpul de concentrare
13	Lungimea zonei superioare de versant	Lungimea medie a căilor de curgere până la un punct din bazin	Accelerația scurgerii, rata de eroziune
14	Lungimea zonei inferioare de	Distanța de la un punct din bazin până la punctul de	Rezistența la drenajul solului

Nr	Parametrul	Definiție	Semnificația hidrologică
	versant	închidere	
15	Lungimea bazinului	Distanța de la cel mai înalt punct până la punctul de închidere	Atenuarea scurgerii de suprafață
16	Curbura în profil	Curbura suprafeței în direcția pantei	Accelerația scurgerii, rata de eroziune/sedimentare
17	Curbura în plan	Curbura curbelor de nivel	Curgere convergentă/divergentă, conținutul în apă din sol, caracteristicile solului
18	Curbura tangentă	Curbura în plan multiplicată de pantă	Furnizează o informație alternativă pentru scurgerea locală convergentă/divergentă

A 3.2

Parametrii topografici secundari determinați prin analiza digitală a terenului din MNAT

Atribut	Formula	Importanța
Indicii topografici ai umidității	$TWI_T = \ln\left(\frac{A_s}{T \times tan\beta}\right)$ A_s = Aria bazinală specifică (m^2/m) T = transmisivitatea solului când profilul de sol este saturat β = gradientul pantei în grade	Această ecuație presupune condiția de curgere permanentă și descrie distribuția spațială și extinderea zonei de saturație pentru generarea scurgerii ca funcție de aria zonei superioare de versant care contribuie la formarea acesteia, transmisivitatea solului și gradientul pantei
	$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{tan\beta}\right)$	Această ecuație particulară presupune condiția de curgere permanentă și proprietăți uniforme ale solului (de exemplu transmisivitatea solului este egală pe întregul bazin și egală cu 1). Aceste ecuații determină zone de saturație unde As este mare (de obicei în zone de teren convergente), β este mic (la baza pantelor concave, unde gradientul pantei este mic), și T este mic (pe soluri superficiale). Aceste condiții sunt de obicei întâlnite în lungul căilor te scurgere și în zone cu concentrări de apă pe teren.
	$TWI_{TT} = \ln\left(\frac{A_e}{tan\beta}\right)$ A_e = Aria bazinală specifică efectivă	Acest index cvasi-dinamic înlocuiește zona superioară de versant care contribuie la formarea scurgerii cu zona efectivă de drenaj și, prin aceasta, depășește limitările ecuațiilor de mai sus referitoare la curgerea permanentă
Indicii puterii de eroziune/sedimentare a cursurilor de apă	$SPI = A_s \times tan\beta$	Indice care arată mărimea puterii de eroziune a apei, bazat pe presupunerea că debitul este proporțional cu aria bazinală specifică. Acesta prognozează eroziunea netă în zone cu profile convexe și concavități tangențiale (zone convergente și scurgere accelerată) și sedimentare netă în zone cu profile concave (zone cu scădere a vitezei curgerii)
	$LS = (n+1)\left(\frac{A_s}{22,13}\right)^n\left(\frac{sin\beta}{0,0896}\right)^m$	Acest indice al capacității de transport a sedimentelor este

Atribut	Formula	Importanța
	$n = 0,4$; $m = 1,3$	echivalent cu factorul LS din RUSLE în anumite cazuri. O altă formulă a acestei ecuații este uneori utilizată pentru a prognoza localizarea zonelor cu eroziune și sedimentare netă
	$SPI = A_s \times (\tan\beta)^2$	Variație a Indicelui puterii cursurilor de apă este folosit uneori pentru prognozarea localizării interfluviilor cursurilor de ordin 1.

Procesarea straturilor de hartă (parametrilor)

Mai întâi, parametrii de intrare au fost generați utilizând hărțile disponibile. În total 10 parametri au fost generați:

1) Solul - au fost utilizate hărțile Textura solului și Subtipurile solului (http://geoportal.md/).

Textura solului este unul din factorii cei mai importanți în determinarea erodibilității solului. În general, particulele mineralelor care formează solul se pot divide în două fracții: fină (sub 2 mm Ø) și grosieră. Fracția fină este compusă, în dependență de dimensiunea particulelor, din: nisip (sand, песок), praf/mâl/lut (silt, ил/пыль) și argilă (clay, глина). Textura solului se referă la proporția relativă a nisipului, prafului și argilei în componența fracției fine a solului. Fiecare dintre aceste trei componente imprimă caracteristici proprii solului și posedă mineralogie distinctă. Erodibilitatea solurilor se corelează invers cu fracțiunea grosieră [188]. După datele lui [22] corelația se menține negativă și în cazul fracțiunii granulometrice 0,2-0,05 mm. Prezența fracțiunilor nisipoase asigură o rată adecvată a infiltrației, fapt care determină o scădere a erodibilității solurilor moderat nisipoase. Între erodibilitate și fracțiunile mai fine s-a stabilit o corelație pozitivă semnificativă [165, 22]. Consecvent, fiecărei categorii texturale i s-a atribuit un număr de clasă, în dependență de erodibilitatea potențială a acestora (Tabel A4.1).

Tab. A4.1. Gradul de erodibilitate a solurilor cu diferită textură

Textura solului	Cod	Predispoziție la eroziune
Nisip, nisip lutos	1	Mică
Lut nisipos	2	Medie
Lut, lut prăfos, praf	3	Ridicată
Argilă nisipoasă, lut argilo-nisipos, lut greu, lut argilo-prăfos, argilă prăfoasă, argilă	4	Mare

Pentru realizarea stratului distribuției conținutului de **materie organică**, s-a pornit de la harta vectorială Subtipurile solului, la scara 1:200.000, fiecărui tip de sol atribuindu-i-se valorile conținutului mediu de materie organică după datele din Tabelul A4.2. Datele vectoriale au fost convertite în format raster, pentru a putea fi utilizate ca date de intrare pentru modulul EasyAHP.

2) Clima - pentru a reprezenta variațiile spațiale, în ceea ce privește agresivitatea precipitațiilor, a fost utilizată Harta sezonalității precipitațiilor (BIO15), precum și harta Cantității anuale de precipitații. Concentrarea în timp a precipitațiilor a fost considerată drept semn al creșterii intensității lor și, respectiv, a erozivității.

3) Scurgerea de suprafață - s-a utilizat Harta scurgerii de suprafață, valorile mari ale scurgerii corelându-se pozitiv cu erozivitatea.

Tab. A4.2. Conținutul mediu de humus în stratul de 0-50 cm de la suprafață, la diferite tipuri și subtipuri de sol [20], *valori calculate

Tipuri și subtipuri de sol	**Etalon, %**	**Slab erodate**		**Moderat erodate**		**Puternic erodate**	
		%	**scădere**	**%**	**scădere**	**%**	**scădere**
Cernoziom argiloiluvial	3,42	2,72*	21	1,99*	42	1,18	65
Cernoziom carbonatic	3,36	2,4	28	1,75	48	1,03	69
Cernoziom obișnuit	3,47	2,65	21	1,94	44	1,01	62
Cernoziom tipic	3,74	3,11	17	2,23	39	1,50	60
Cernoziom levigat	3,40	2,84	16	2,01	38	1,22	64
Cernoziom vertic	4,53	3,60*	21	2,63*	42	1,57	65
Sol cenușiu-închis de pădure	2,49	2,02	20	1,48	40	0,87	65
Sol cenușiu de pădure	1,82	1,55	16	1,35	25	0,72	60

4) Relieful - pentru reprezentarea rolului reliefului, sau utilizat 2 strate de hartă: altitudinea și panta versanților, fiecare corelându-se pozitiv cu potențialul eroziv al reliefului.

5) Acoperirea/utilizarea terenurilor - categoriilor de acoperire/utilizare a terenurilor le-au fost alocate numere de clasă, în dependență de tipul de utilizare și modul de acoperire a terenurilor. Astfel, terenurile arabile și terenurile neacoperite cu vegetație au constituit clasa cea mai expusă la eroziune, pajiștile, vetrele localităților rurale și suprafețele ocupate de culturi multianuale s-au încadrat în clasa de eroziune medie, iar pădurile, suprafețele acoperite cu tufișuri, apele, zonele umede și vetrele orașelor s-au încadrat în clasa de eroziune minimă.

6) Eroziunea de versant - s-a utilizat harta Soluri erodate (http://geoportal.md), evidențiindu-se 3 clase: terenuri puternic erodate, mediu și slab erodate și neerodate.

7) Eroziunea de albie - pentru a simula distribuția eroziunii de albie s-a utilizat Harta densității fragmentării reliefului, clasificată în 3 clase de densitate.

Parametrii generați, în forma lor brută, nu pot fi utilizați pentru analiza WLC după AHP, fiind reprezentați în diferite unități de măsură. De aceea hărțile trebuie, mai întâi, să fie clasificate și convertite în aceleași unități de măsură.

Easy AHP. După clasificare și generarea parametrilor, se realizează calcularea ponderii parametrilor utilizând aplicația EasyAHP (extensie QGIS). După lansarea plugin-ului se va da click pe butonul Next. La această etapă se vor selecta parametrii utilizați pentru analiză; stratele de hartă raster trebuie să fie încărcate anterior în fereastra QGIS.

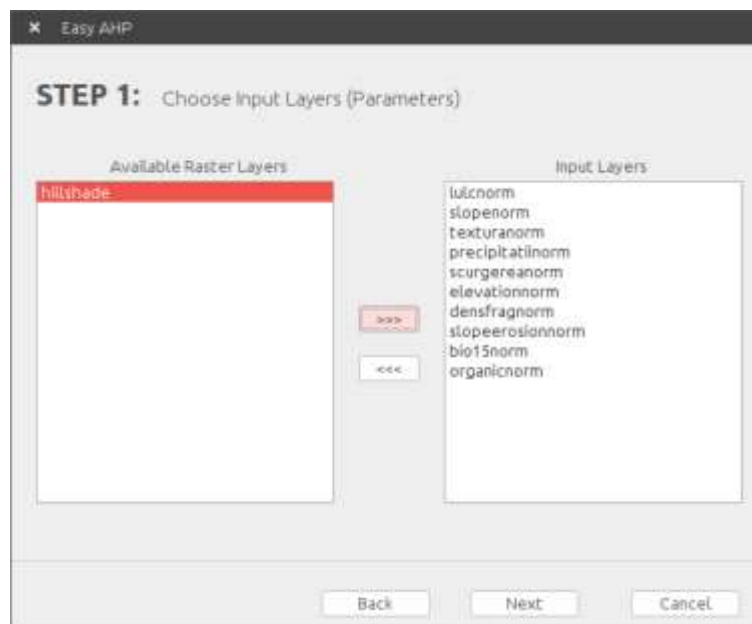


Fig. A4.1. Selectarea parametrilor

Se recomandă ca acestea să posede caracteristici similare în ceea ce privește extinderea, rezoluția și sistemul de coordonate / proiecție. Analiza AHP necesită cel puțin 3 parametri, dar nu mai mult de 15. Straturile selectate vor fi mutate în coloana din dreapta folosind butonul corespunzător din fereastra programului Figura A4.1.

Următoarea etapă de lucru constă în completarea tabelului pentru comparație în perechi. Determinarea ponderii factorilor (parametrilor) este o problemă decizională complexă. Este cunoscut din studii de psihologie că oamenii nu pot compara simultan mai mult de 7 ± 2 elemente, astfel că [151] sugerează o scară de comparare, constând din valori cuprinse între 1 și 9, care descriu gradul de importanță pentru fiecare factor (Tabel A4.3).

Tab. A4.3. Exemplu de scară de comparare

Gradul de importanță	Descriere
1	Importanță egală
2	De la egal la moderat
3	Importanță moderată
4	De la moderat la puternic
5	Importanță puternică
6	De la puternică la foarte puternică
7	Importanță foarte puternică
8	De la foarte puternică la extrem de puternică
9	Importanță extremă

Valoarea 1 exprimă „importanță egală” între factori, iar valoarea 9 este acordată acelor factori care dețin „importanță extremă” în comparație cu alți factori [151]. În cadrul softurilor specializate (ex. EasyAHP), celulele transpuse corespondente se completează automat cu valori reciproce: 2 - 0,5; 4 - 0,25 etc. (Tabel A4.4).

Tab. A4.4. Dezvoltarea matricei de comparație în perechi

Parametrii	Utilizarea/acoperirea terenurilor	Panta reliefului	Textura solului	Precipitațiile anuale	Scurgerea de suprafață	Altitudinea reliefului	Densitatea fragmentării reliefului	Eroziunea de versant	Sezonalitatea precipitațiilor	Conținutul de materie organică
Utilizarea/acoperirea terenurilor	1	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Panta reliefului	1,0	1	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Textura solului	1,0	1,0	1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Precipitațiile anuale	0,5	0,5	0,5	1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Scurgerea de suprafață	0,5	0,5	0,5	1,0	1	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Altitudinea reliefului	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1	1,0	1,0	2,0	2,0
Densitatea fragmentării reliefului	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1	1,0	2,0	2,0
Eroziunea de versant	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1	2,0	2,0
Sezonalitatea precipitațiilor	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,0
Conținutul de materie organică	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1

După umplerea tuturor celulelor, se dă click pe butonul Calculate pentru a calcula indicatorii AHP. De notat că valoarea lui CR (rata de consistență) trebuie să fie mai mică decât 0,1. În caz contrar tabelul de comparație este considerat inconsistent [151].

Rata de consistență (CR) este calculată pentru a măsura gradul de consistență a raționamentelor expertului. Dacă valoarea lui CR este mai mică decât 0,1 atunci gradul de inconsistență este acceptabil, altfel comparația în perechi trebuie repetată. În cazul nostru, analiza inconsistenței realizată a dat valori pentru CR egale cu 0,002, ceea ce indică un grad ridicat de consistență. Ponderea factorilor s-a distribuit după cum reiese din Tabel A4.5.

Tab. A4.5. Ponderea calculată pentru diferiți parametri

Nr	Parametri	Ponderea
1	Utilizarea/acoperirea terenurilor, Panta, Textura solului	0,167
2	Altitudinea, Densitatea fragmentării reliefului, Eroziunea de versant, Precipitațiile anuale, Scurgerea de suprafață	0,083
3	Conținutul de materie organică în sol, Sezonalitatea precipitațiilor	0,042

După calcularea AHP se trece la următorul pas al studiului și anume la analiza WLC, utilizând ponderile calculate anterior pentru fiecare factor/parametru. La această etapă, Easy AHP utilizează instrumentul SAGA Raster Calculator din Processing Toolbox în QGIS.

Mai întâi, se setează locația și numele fișierului care va conține rezultatul analizei, după care se apasă butonul Run. La finalizarea operației, stratul rezultat este adăugat automat în QGIS.

Rezultatul este prezentat în Figura A4.2.

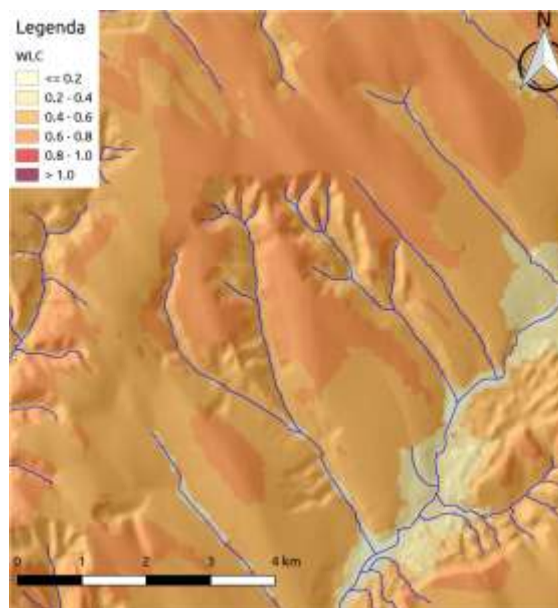


Fig. A4.2. Distribuția riscului eroziunii solului, valorile mici reprezintă risc scăzut al degradării terenurilor/solului datorită eroziunii prin apă

Un alt instrument, utilizat pentru evaluări multi-criteriale este plug-in-ul MCElite pentru programul QGIS [115]. Interfața MCELite constă dintr-o singură fereastră cu trei file: „Bool”, „WLC” și „OWA”. Acestea corespund cu analizele multi-criteriale utilizând, respectiv: metoda de suprapunere Booleană, metoda combinației lineare ponderate (WLC) și metoda mediei ponderate ordonate (OWA). Interfața permite utilizatorului de a selecta tipul dorit de analiză și parametrii de intrare pentru aceasta (fișierele condițiilor și factorilor în format raster, ponderile și parametrii de analiză a senzitivității), precum și de a încărca fișiere de configurație și de a modifica parametrii de intrare înainte de a executa operația de analiză.

Teoria „unit stream power” provine din conceptul fizic care postulează că *rata de disipare a energiei utilizate pentru transportul de material trebuie să fie în concordanță cu rata materialului care trebuie să fie transportat*. Conceptul inițial al USP, sau al ratei de disipare a energiei potențiale, derivă dintr-un studiu al lui [192] asupra morfologiei râurilor. Sistemele fluviale actuale sunt rezultatul cumulat al eroziunii și transportului de sedimente. Dacă teoria USP poate fi aplicată pentru a explica rezultatele eroziunii și transportului de sedimente, atunci ea poate să fie aplicată și la a explica procesul de eroziune și transport al sedimentelor. Relațiile dintre USP și transportul de sedimente în canale deschise și râuri naturale au fost descrise în mai multe publicații [192, 193].

Modelul USPED este un model simplu care prezice distribuția spațială a eroziunii și depunerii de sedimente pornind de la ipoteza existenței unui flux constant precipitațiilor distribuite uniform și în condițiile unei „capacități de transport limitate“. Modelul se bazează pe ideile lui [129], care au propus să evalueze eroziunea și depunerea solului ca consecință a variațiilor locale în capacitatea de transport de sedimente. După ei, rata eroziunii/depunerii nu depinde de valoarea în sine a capacității de transport, ci mai degrabă, de gradul de variație, de la un punct la un altul, a acesteia [63].

Ecuația de calcul a **fluxului de sedimente** are forma:

(A5.1)

$$q_s = K_t \times q^m \times (\sin(b))^n$$

Unde: q_s – fluxul de sedimente (kg m^{-1} s^{-1}); q^m – fluxul de apă pe unitate de suprafață (m^3 m^{-1} s^{-1}); b – panta (^{o}); K_t – coeficientul de transportabilitate a fluxului (depinde de tipul solului și de tipul de utilizare); m și n – coeficienți a căror valori sunt dependente de tipul de sol și timpul de scurgere. Aceste două constante sunt stabilite aproximativ, în cazul scurgerii de suprafață, ca 1,6 și respectiv 1,3 [84].

În condițiile unei capacități de transport limitate, se presupune că capacitatea de transport T este egală cu q_s (fluxul de sedimente).

(A5.2)

$$T = q_s$$

În cazul fluxului staționar și a unei ploi uniforme, q se poate exprima astfel:

(A5.3)

$$q = A \times i_e$$

Unde: A – suprafața de drenaj (m^2 m^{-1}); i_e - precipitații efective (ms).

Astfel, **fluxul de sedimente** (kg m^{-1} s^{-1}) se poate calcula din expresia:

(A5.4)

$$q_s = K_t \times A^m \times i_e^m \times (\sin(b))^n$$

În [129] se propune calcularea eroziunii și depunerii potențiale luând în considerare variațiile capacității de transport solid (în lungul direcției de scurgere) prin intermediul unui derivat de direcție în sensul pantei maxime. Modelul propus de [129] este versiunea 1D a modelului USPED.

(A5.5)

$$D(r) = \frac{dT}{ds} = K_t \left\{ \left[grad(h) \times s \right] \times \sin(b) - h \times k_p \right\}$$

Unde: s – vector unitar pe direcția pantei; h – grosimea stratului de apă; K_t - coeficientul de transportabilitate a fluxului hidric; D(r) – rata eroziunii/depunerii hidrice.

Autorii [123] concep o versiune 2D a modelului, considerând fluxul de sedimente, $q_s = q_s(x, y)$ și fluxul de apă, $q = q(x, y)$ ca vectori bidimensionali, iar eroziunea/depunerea reieșind din expresia:

(A5.6)

$$D(r) = div(q_s) = K_t \left\{ \left[grad(\text{h}) \right] \times s \times \sin(b) - h \left[k_p + k_t \right] \right\}$$

Unde: s – vector unitar pe direcția pantei maxime; h [m] – grosimea stratului de apă; k_p – curbura terenului pe direcția pantei maxime; k_t – curbura tangențială a terenului.

În [63] se prezintă următoarea formă a ecuației folosite pentru estimarea **capacității de transport** a sedimentelor:

(A5.7)

$$T = R \times K \times C \times P \times A^m \times (\sin b)^n$$

Unde: $R = i^m$, $KCP = K_t$, $LS = A^m \times (\sin b)^n$, $m = 1,6$ și $n = 1,3$ (pentru scurgerea liniară), $m = n = 1$ (pentru scurgerea laminară).

Eroziunea/depunerea este estimată astfel din divergența capacității de transport T:

(A5.8)

$$D(r) = div(T \times s) = \frac{d(\mathrm{T} \times \cos a)}{dx} + \frac{d(\mathrm{T} \times \sin a)}{dy}$$

Unde: a (^{o}) – orientarea (expoziția) suprafeței terenului.

Calcularea rasterului eroziunii/depunerii se realizează prin calcularea succesivă a: fluxului de sedimente (qs), capacității de transport (T) și eroziunii/depunerii (D(r)). Calculele au fost efectuate după metoda propusă de [124].

Datele de intrare pentru modelare sunt:

Rastere: MNAT (elevația), factorul R, factorul K, factorul C și factorul P (acesta poate fi înlocuit cu 1). Rezoluția hărților raster de intrare a fost egală cu 10 m.

1) Se calculează rasterul acumulării (**flowaccumulation.r.flow**) scurgerii, utilizând modulul ***r.flow*** în GRASS GIS (Figura A5.1).

r.flow --overwrite --verbose elevation=dem.topo@PERMANENT aspect=aspect@PERMANENT flowline=flowline flowlength=flowlength flowaccumulation=flowaccumulation.r.flow

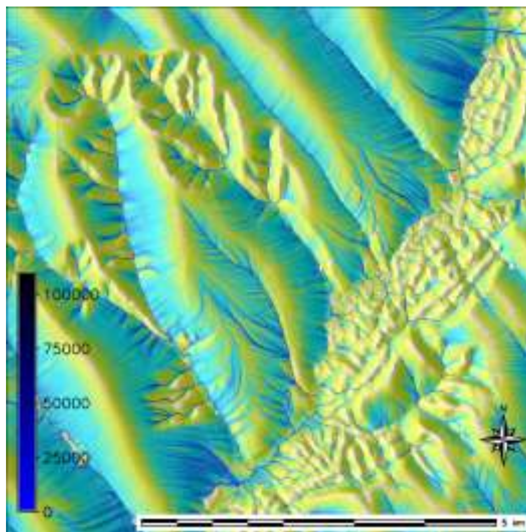


Fig. A5.1. Rasterul acumulării (concentrării) scurgerii

2) Se calculează rasterele pantei (**slope**) și expoziției versanților (**aspect**), utilizând modulul ***r.slope.aspect*** în GRASS GIS (Figurile A5.2 și A5.3).

r.slope.aspect elevation=dem.topo@PERMANENT slope=slope aspect=aspect

3) Utilizând ***r.mapcalc***, se calculează rasterele **fluxului de sedimente** (q_s) pentru 2 cazuri: a) când prevalează eroziunea liniare asupra celei plane și invers, b) eroziunea plană prevalează asupra celei liniare.

a) r.mapcalc "sflowtopo.prevailing.rill = exp(flowaccumulation.r.flow@PERMANENT * 10, 1.6) * exp(sin(slope@PERMANENT),1.3)" --overwrite

b) r.mapcalc "sflowtopo.prevailing.sheet = flowaccumulation.r.flow@PERMANENT * 10 * sin(slope@PERMANENT)" --overwrite

4) Utilizând ***r.mapcalc***, se calculează rasterele **capacității de transport** (T) pentru 2 cazuri: a) când prevalează eroziunea liniare asupra celei plane și invers, b) eroziunea plană prevalează asupra celei liniare Figurile A5.4 și A5.5.

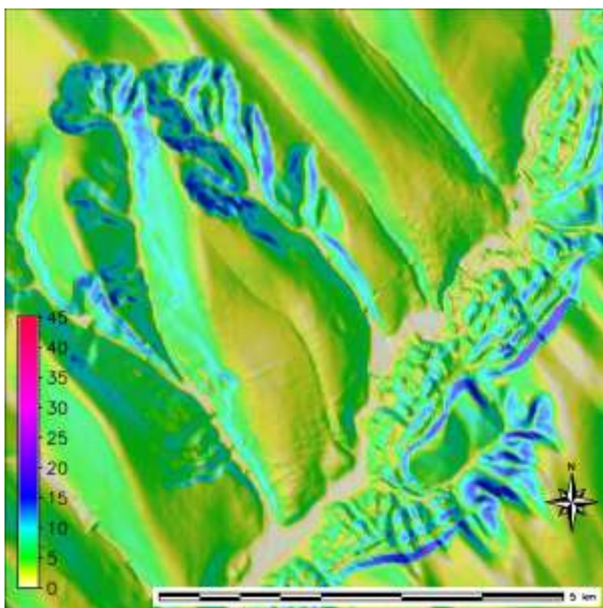


Fig. A5.2. Panta, grade (slope)

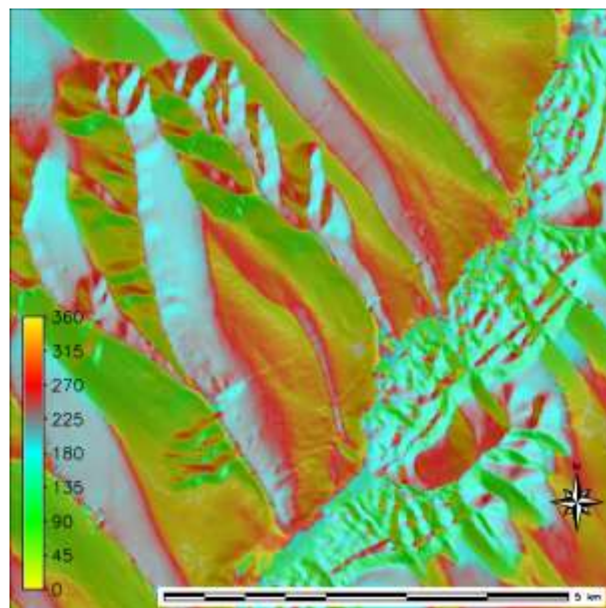


Fig. A5.3. Expoziția, grade (aspect)

qsx – pe direcția vest-est

a) r.mapcalc "qsx.prevailing.rill = r.regresie@PERMANENT * k_uslek@PERMANENT * cfactor_karaburun@PERMANENT * sflowtopo.prevailing.rill@PERMANENT * cos(aspect@PERMANENT)" –overwrite

b) r.mapcalc "qsx.prevailing.sheet = r.regresie@PERMANENT * k_uslek@PERMANENT * cfactor_karaburun@PERMANENT * sflowtopo.prevailing.sheet@PERMANENT * cos(aspect@PERMANENT)" --overwrite

qsy – pe direcția nord-sud

a) r.mapcalc "qsy.prevailing.rill = r.regresie@PERMANENT * k_uslek@PERMANENT * cfactor_karaburun@PERMANENT * sflowtopo.prevailing.rill@PERMANENT * sin(aspect@PERMANENT)" --overwrite

b) r.mapcalc "qsy.prevailing.sheet = r.regresie@PERMANENT * k_uslek@PERMANENT * cfactor_karaburun@PERMANENT * sflowtopo.prevailing.sheet@PERMANENT * sin(aspect@PERMANENT)" --overwrite

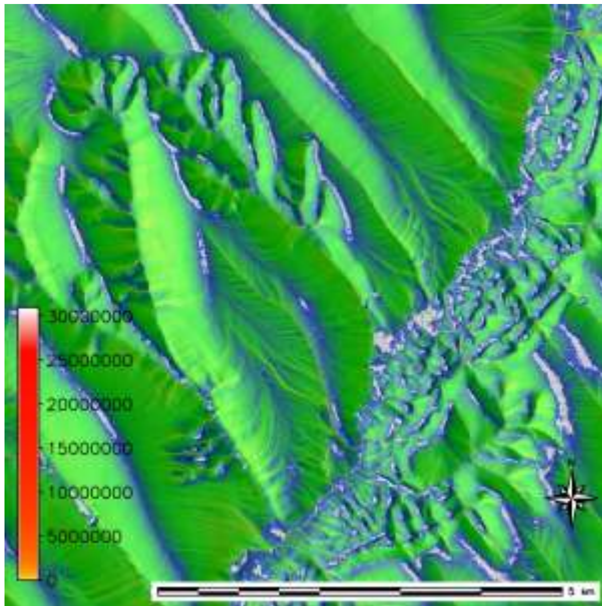


Fig. A5.4. Fluxul de sedimente (prev. rill)

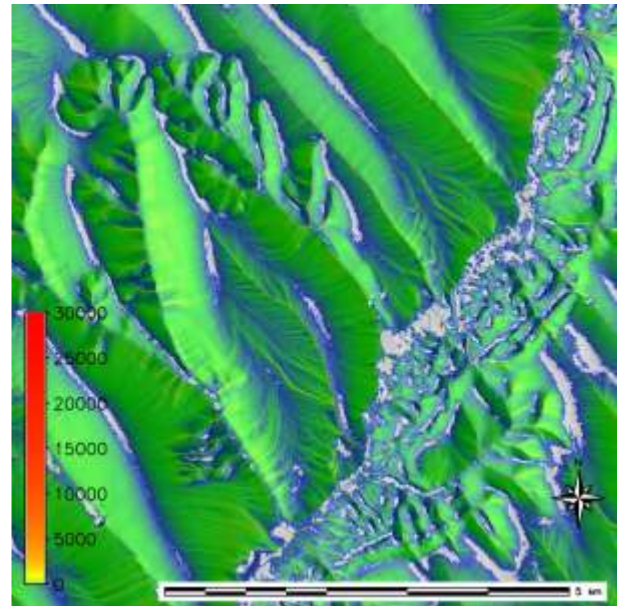


Fig. A5.5. Fluxul de sedimente (prev. sheet)

5) Utilizând ***r.slope.aspect*** se calculează derivatele de ordin 1:

qsx.dx

a) r.slope.aspect --overwrite elevation=qsx.prevailing.rill@PERMANENT dx=qsx.dx.prevailing.rill

b) r.slope.aspect --overwrite elevation=qsx.prevailing.sheet@PERMANENT dx=qsx.dx.prevailing.sheet

qsy.dy

a) r.slope.aspect --overwrite elevation=qsy.prevailing.rill@PERMANENT dy=qsy.dy.prevailing.rill

b) r.slope.aspect --overwrite elevation=qsy.prevailing.sheet@PERMANENT dy=qsy.dy.prevailing.sheet

6. Utilizând ***r.mapcalc*** se calculează rasterele eroziunii/depunerii (D(r)):

a) r.mapcalc "erdep.prevailing.rill = qsx.dx.prevailing.rill@PERMANENT + qsy.dy.prevailing.rill@PERMANENT" --overwrite

b) r.mapcalc "erdep.prevailing.sheet = 10 * (qsx.dx.prevailing.sheet@PERMANENT + qsy.dy.prevailing.sheet@PERMANENT)" –overwrite

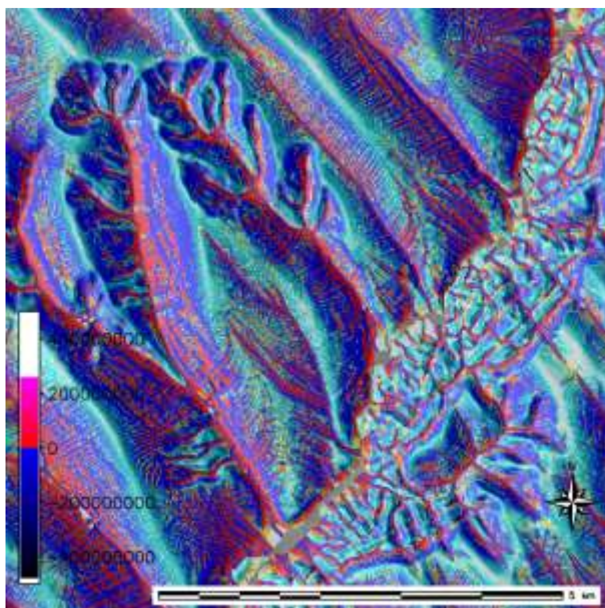


Fig. A5.6. Eroziune/depunere (liniară - rill)

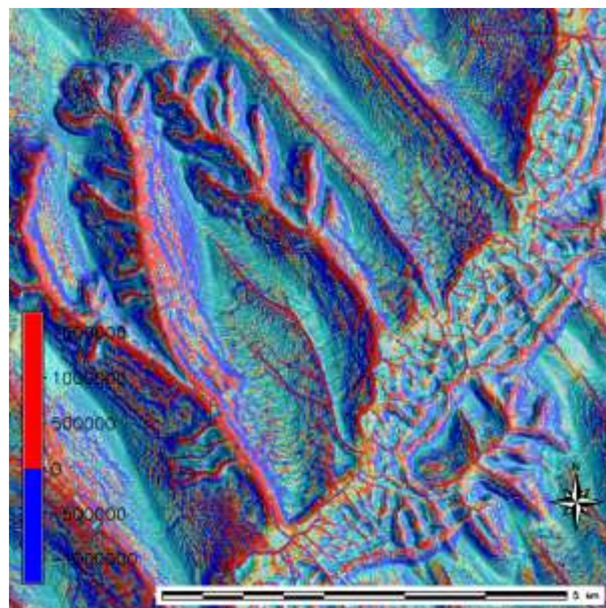
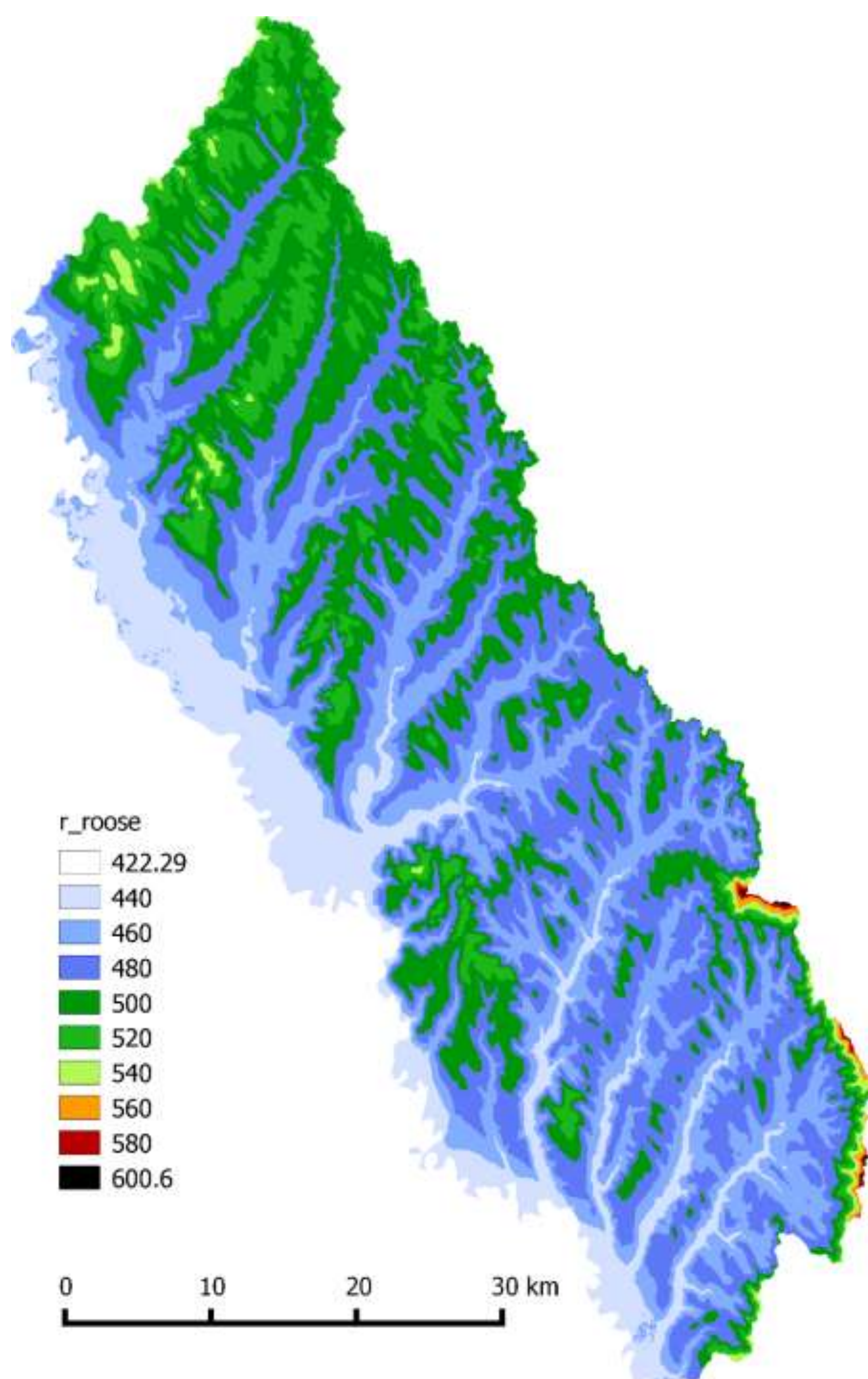


Fig. A5.7. Eroziune/depunere (laminară - sheet)

Rezultatul modelării ne pune în evidență arealele cu eroziune predominantă, reprezentate pe Figurile A5.6 A5.7 prin culoare roșie și, respectiv, arealele cu depunere predominant de sediment, reprezentate prin culoarea albastră (Anexele 6.16 și 6.17). Calibrarea modelului ar permite aprecierea cantitativă a acestor două component ale procesului erozional/acumulativ.

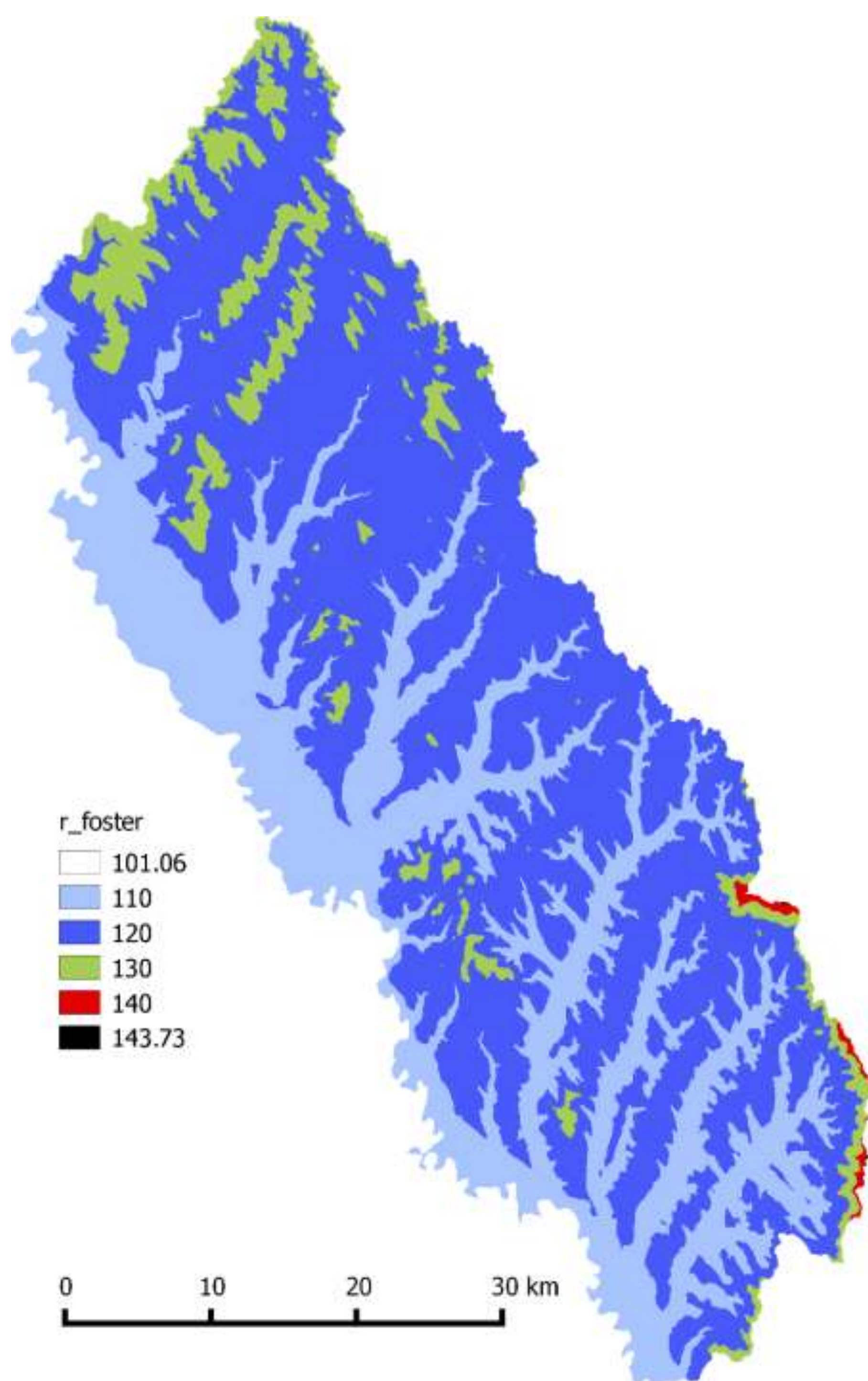
A 6.1

Factorul R, după ecuația Roose



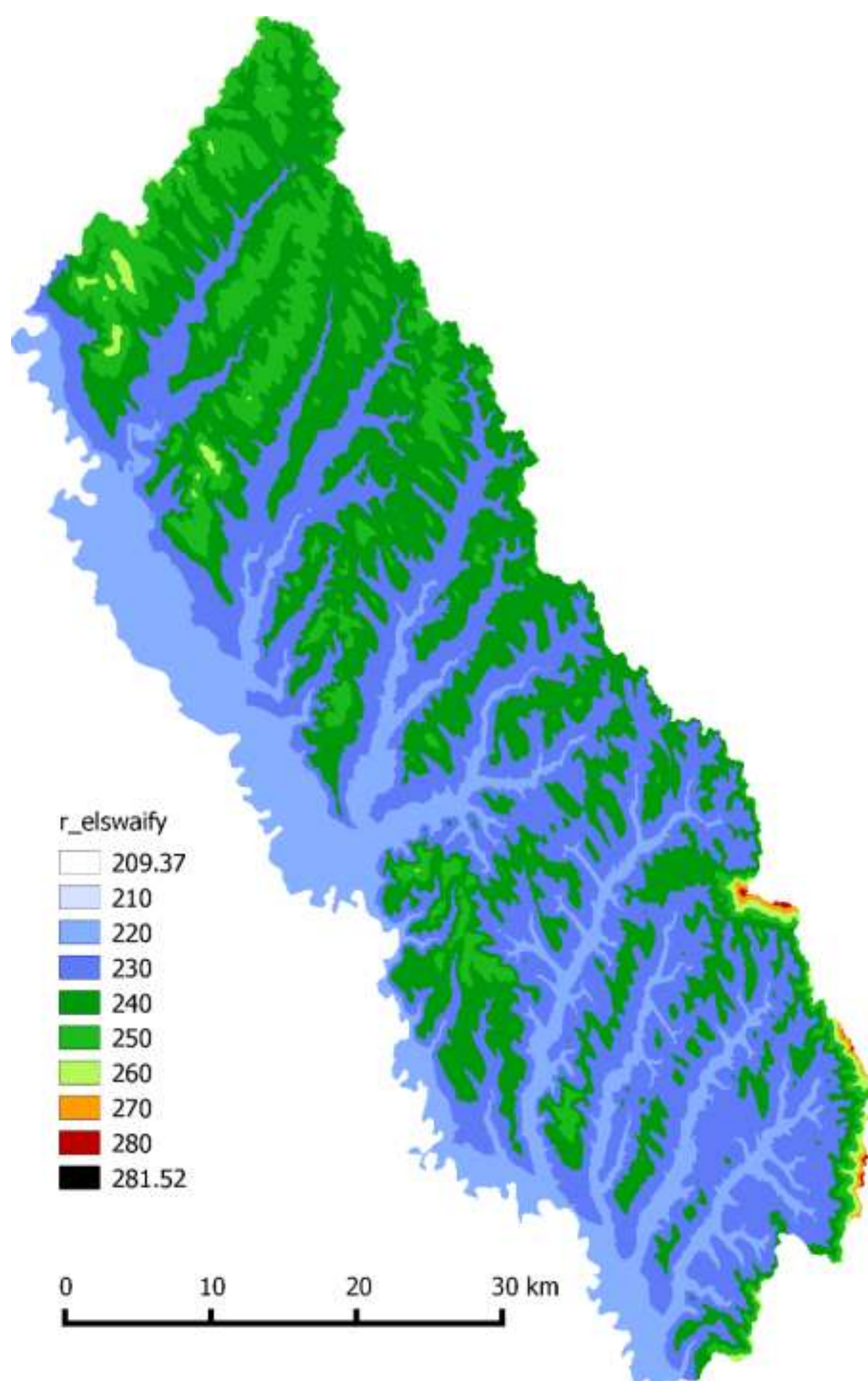
A 6.2

Factorul R, după ecuația Foster



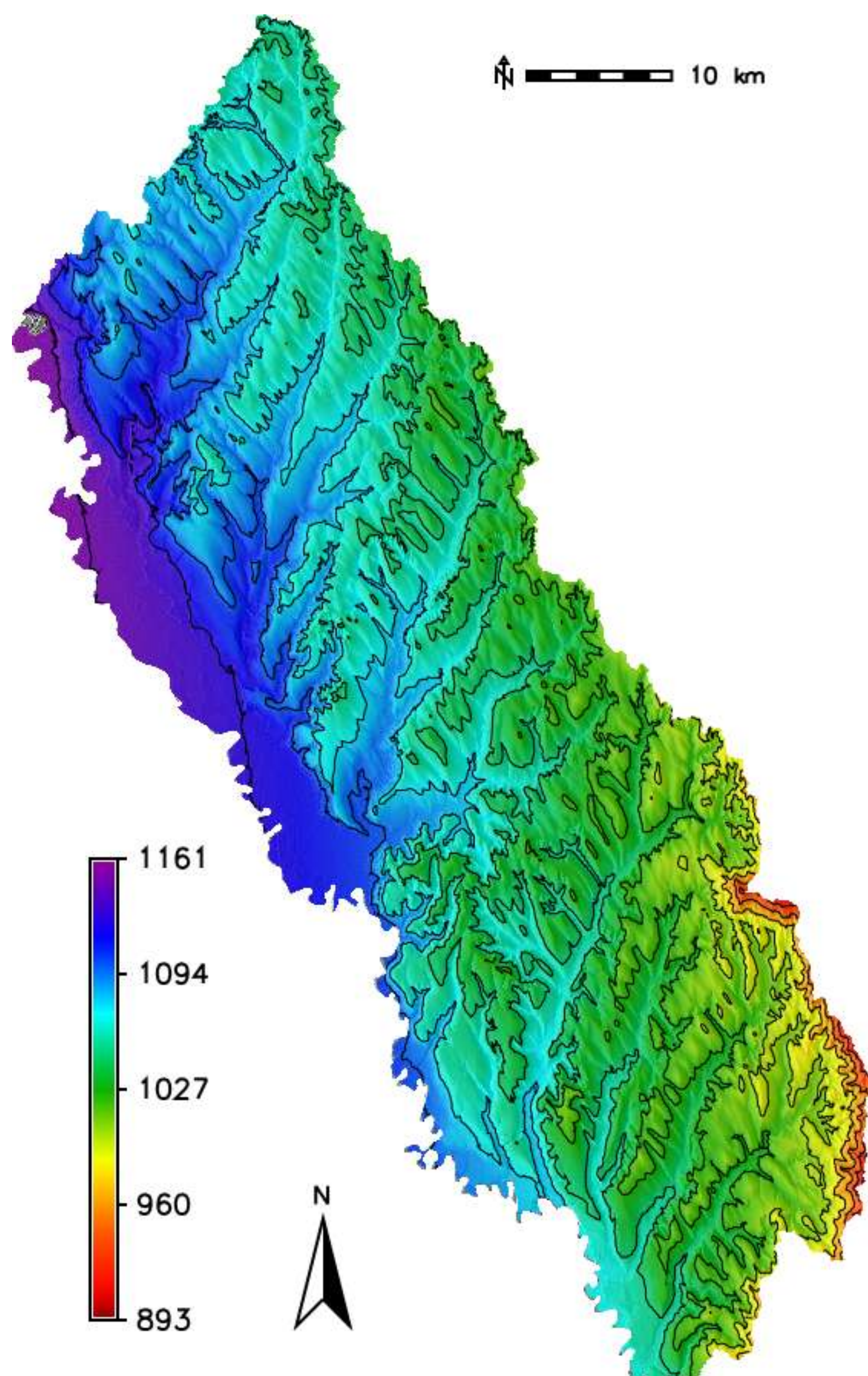
A 6.3

Factorul R, după ecuația El-Swaify



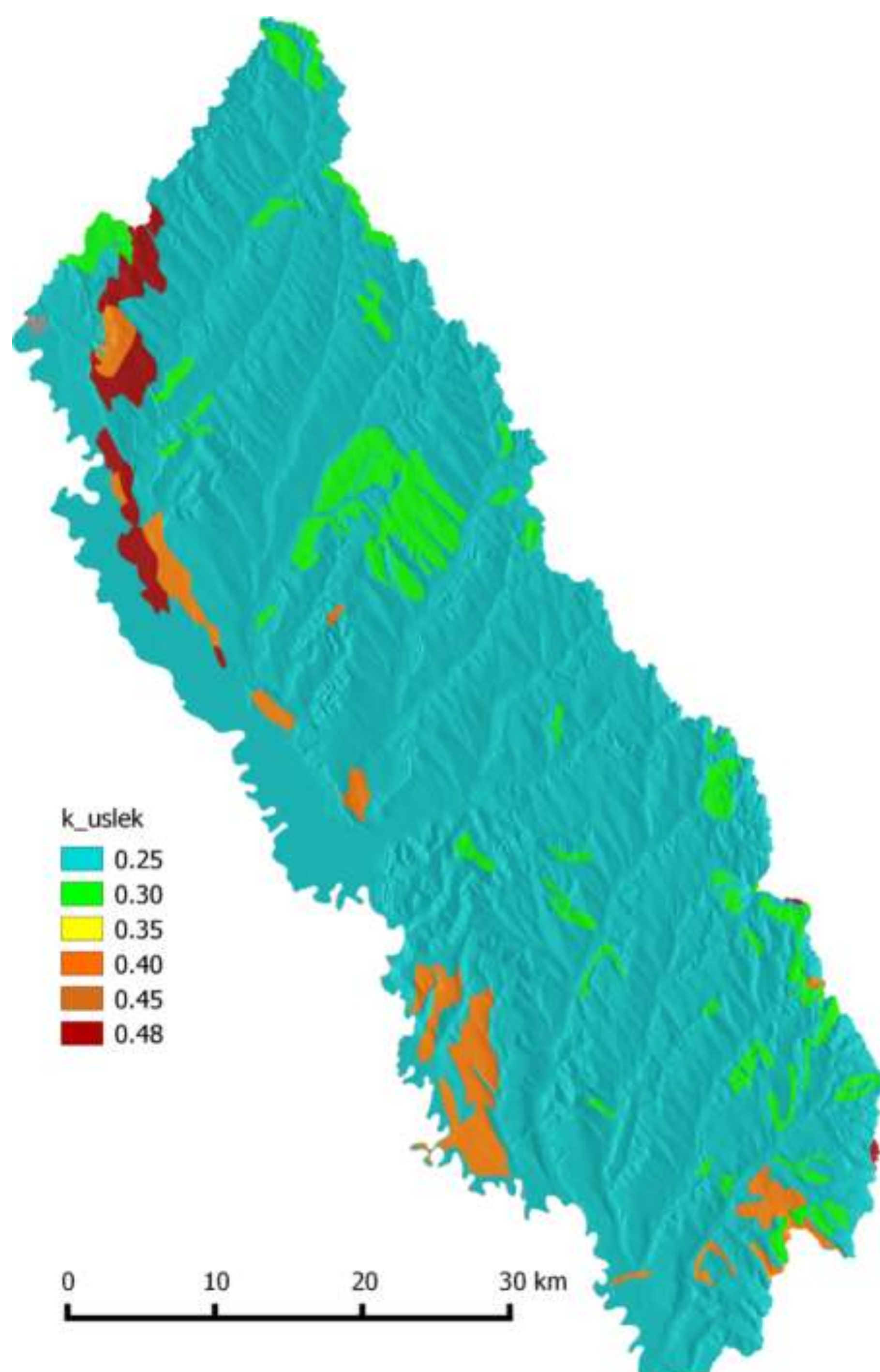
A 6.4

Factorul R, din ecuația de regresie



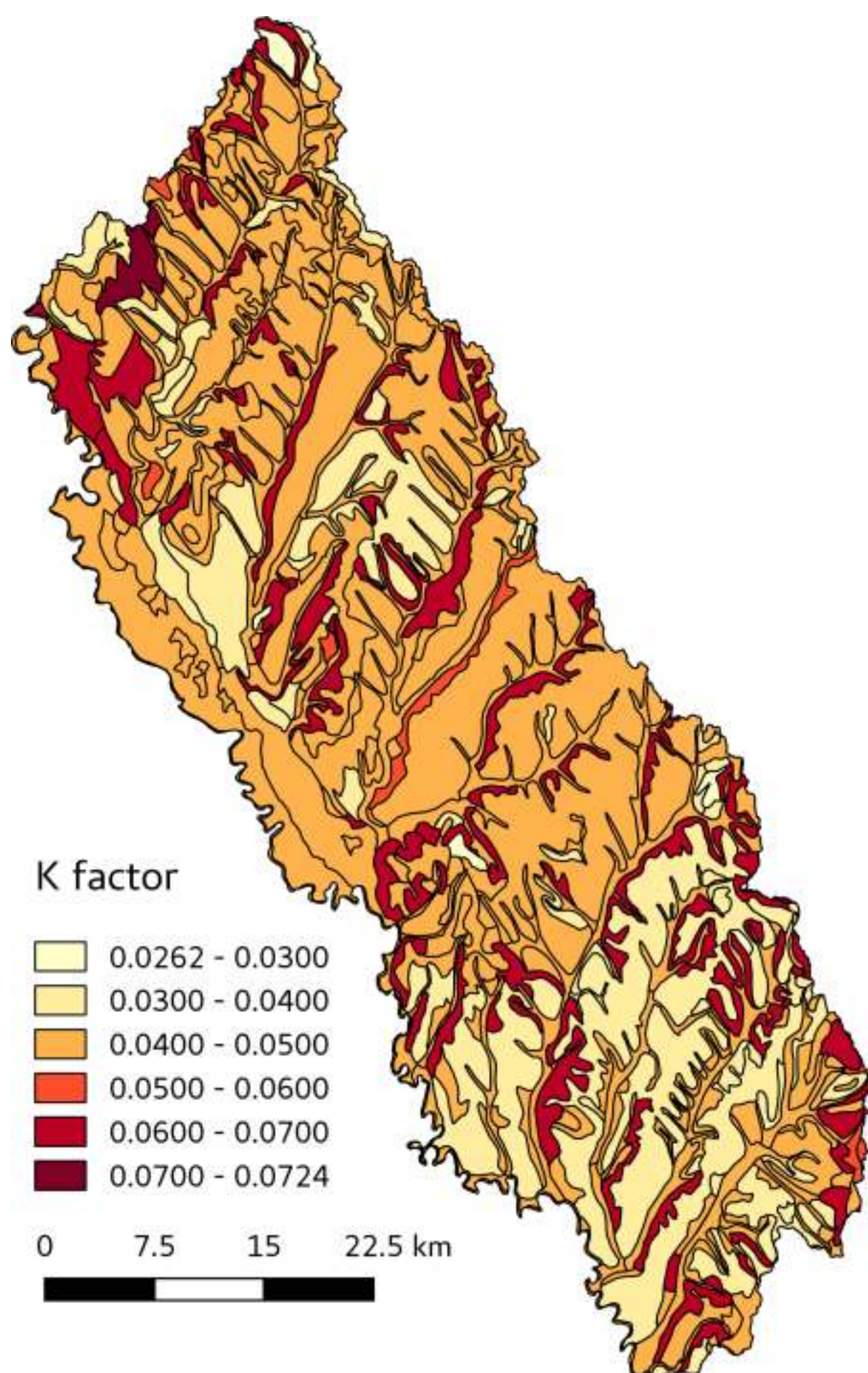
A 6.5

Factorul K (r.uslek)



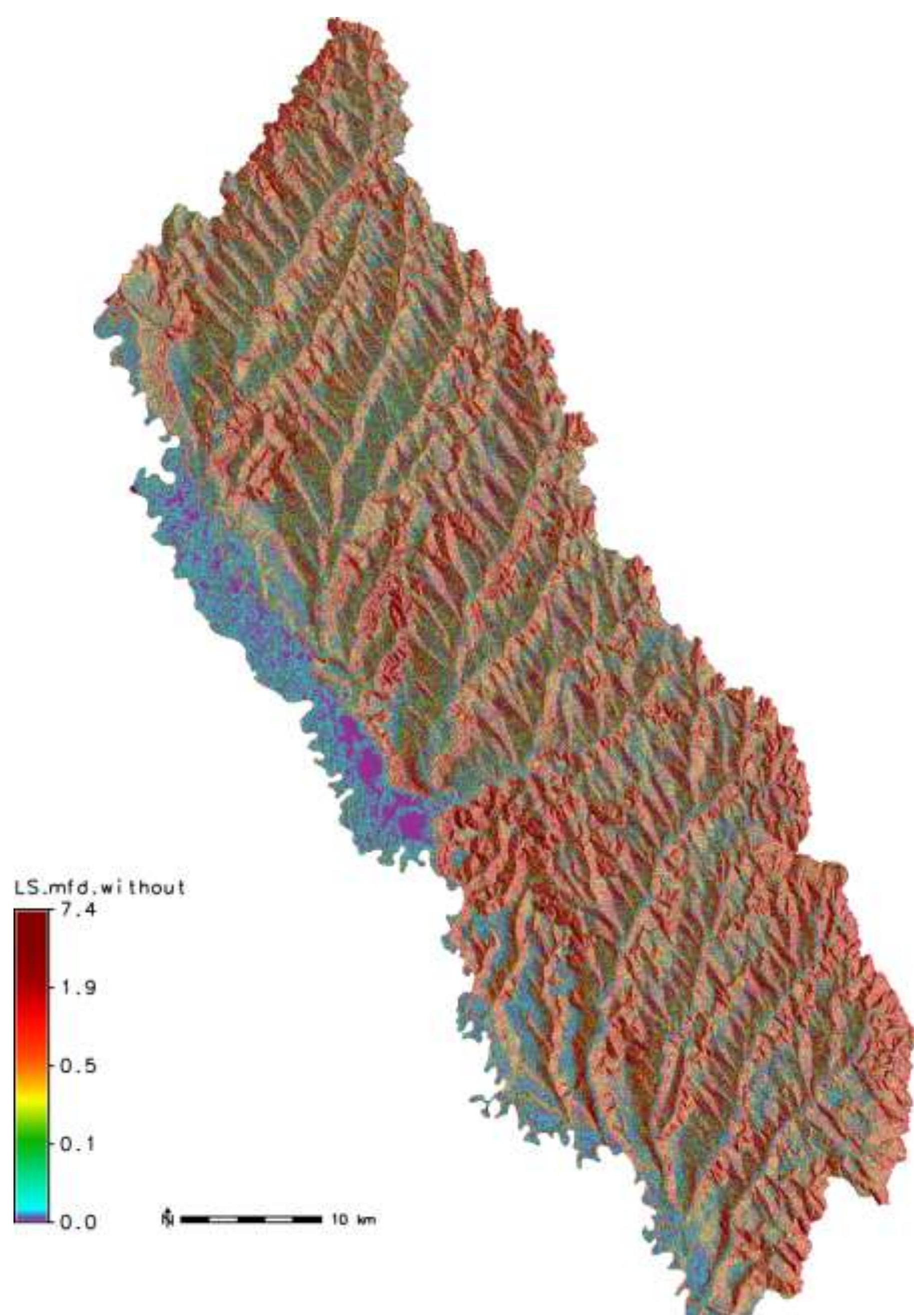
A 6.6

Factorul K utilizat în model



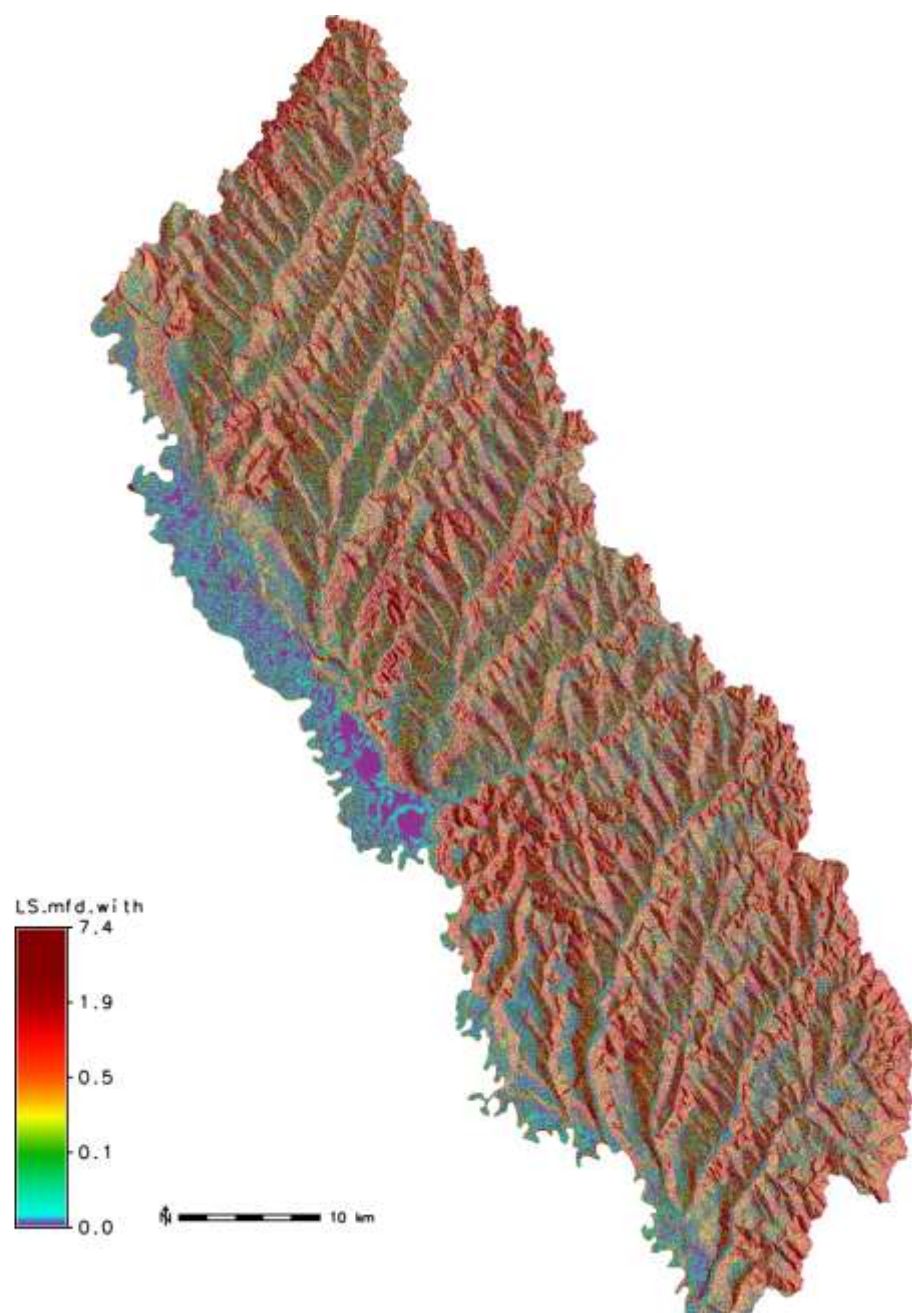
A 6.7

Factorul LS (MFD, fără bariere)



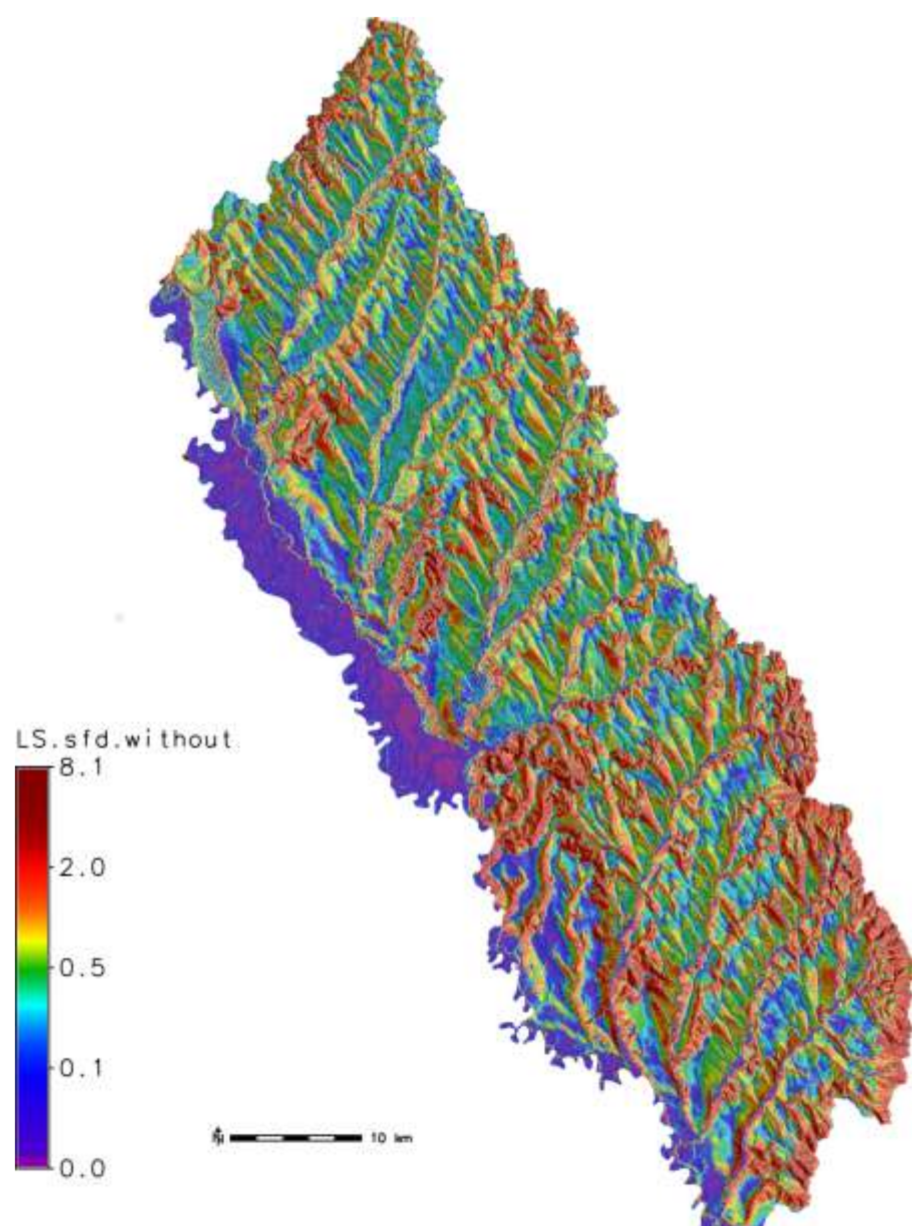
A 6.8

Factorul LS (MFD, cu bariere)



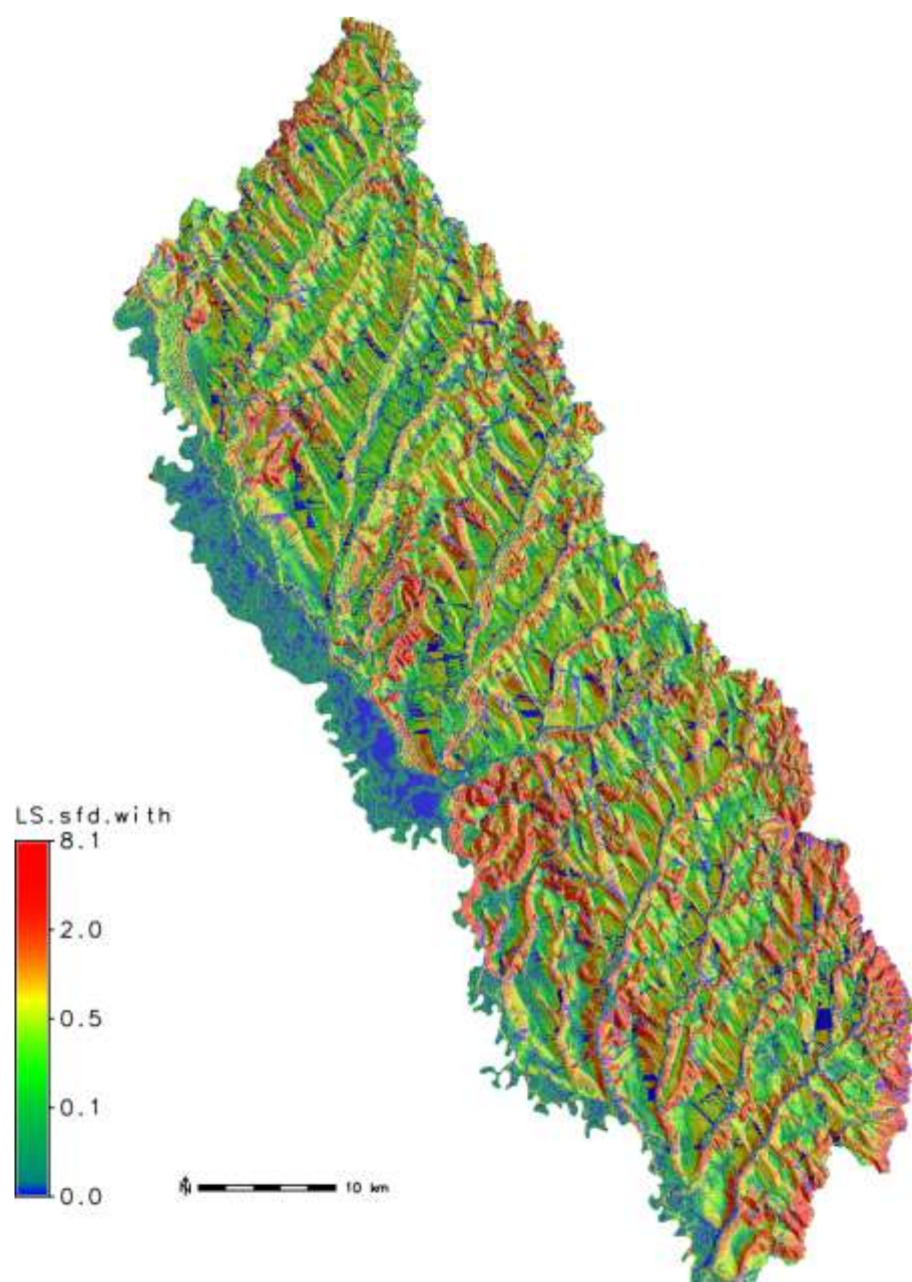
A 6.9

Factorul LS (SFD, fără bariere)



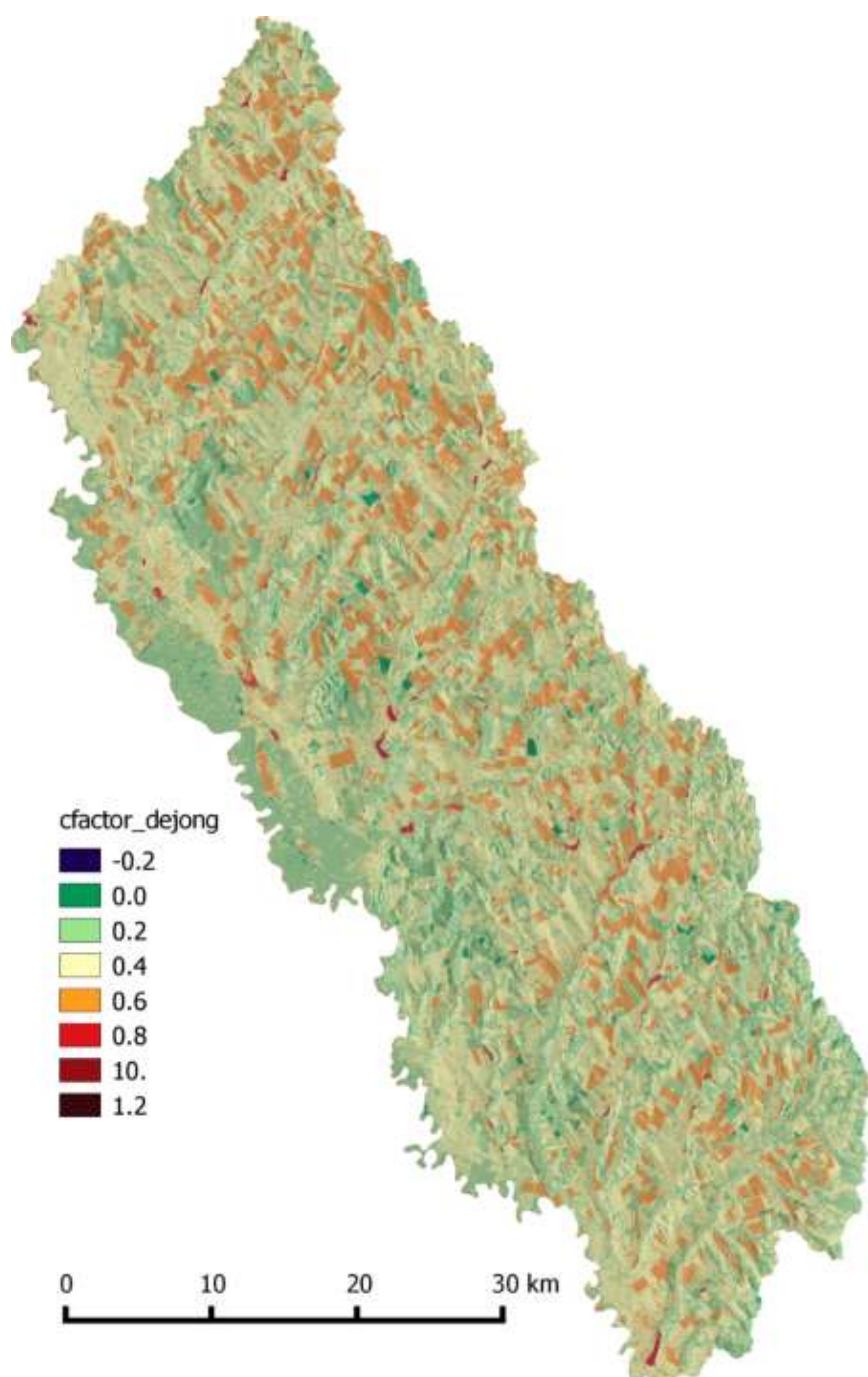
A 6.10

Factorul LS (SFD, cu bariere)



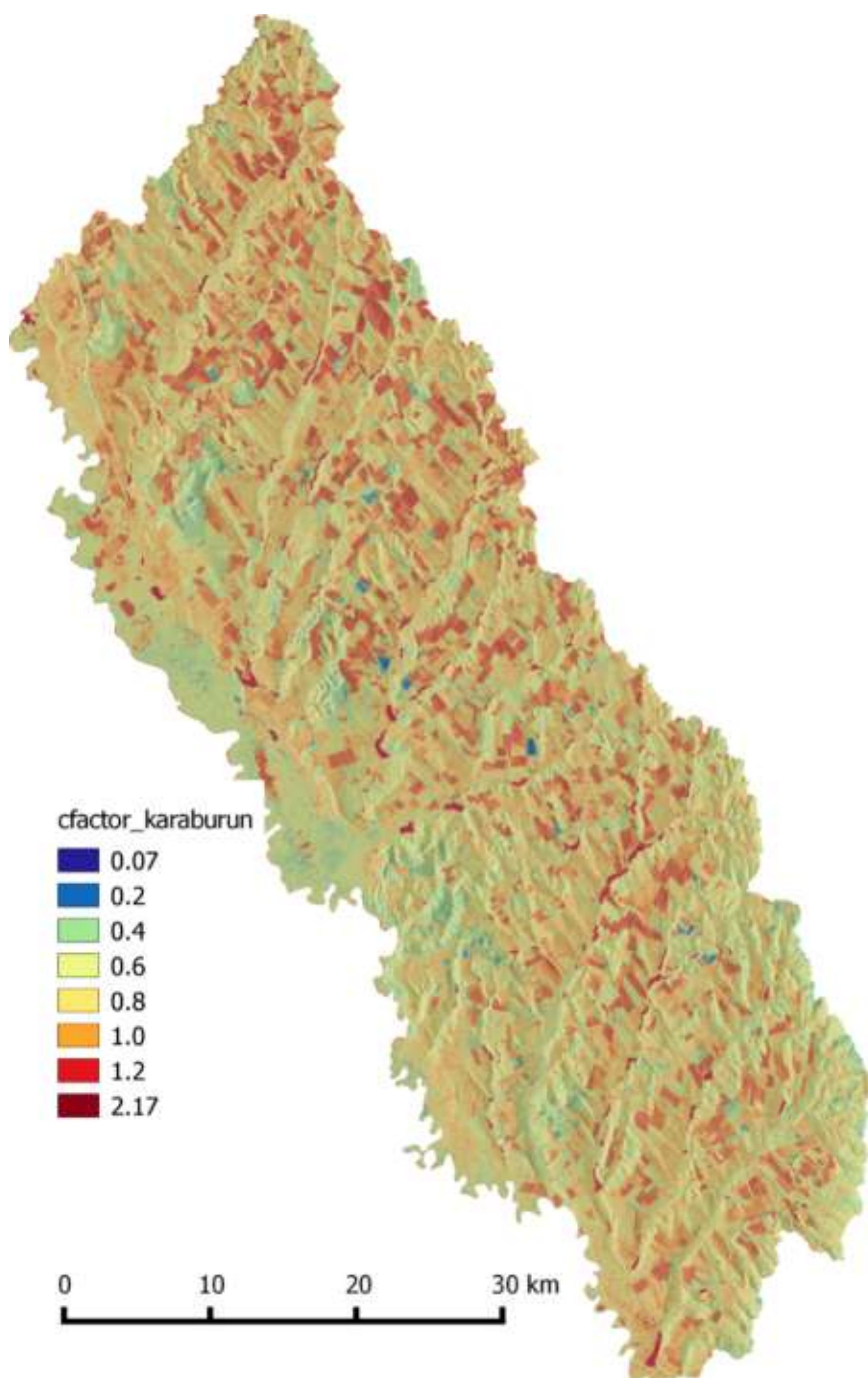
A 6.11

Factorul C, după ecuația De Jong



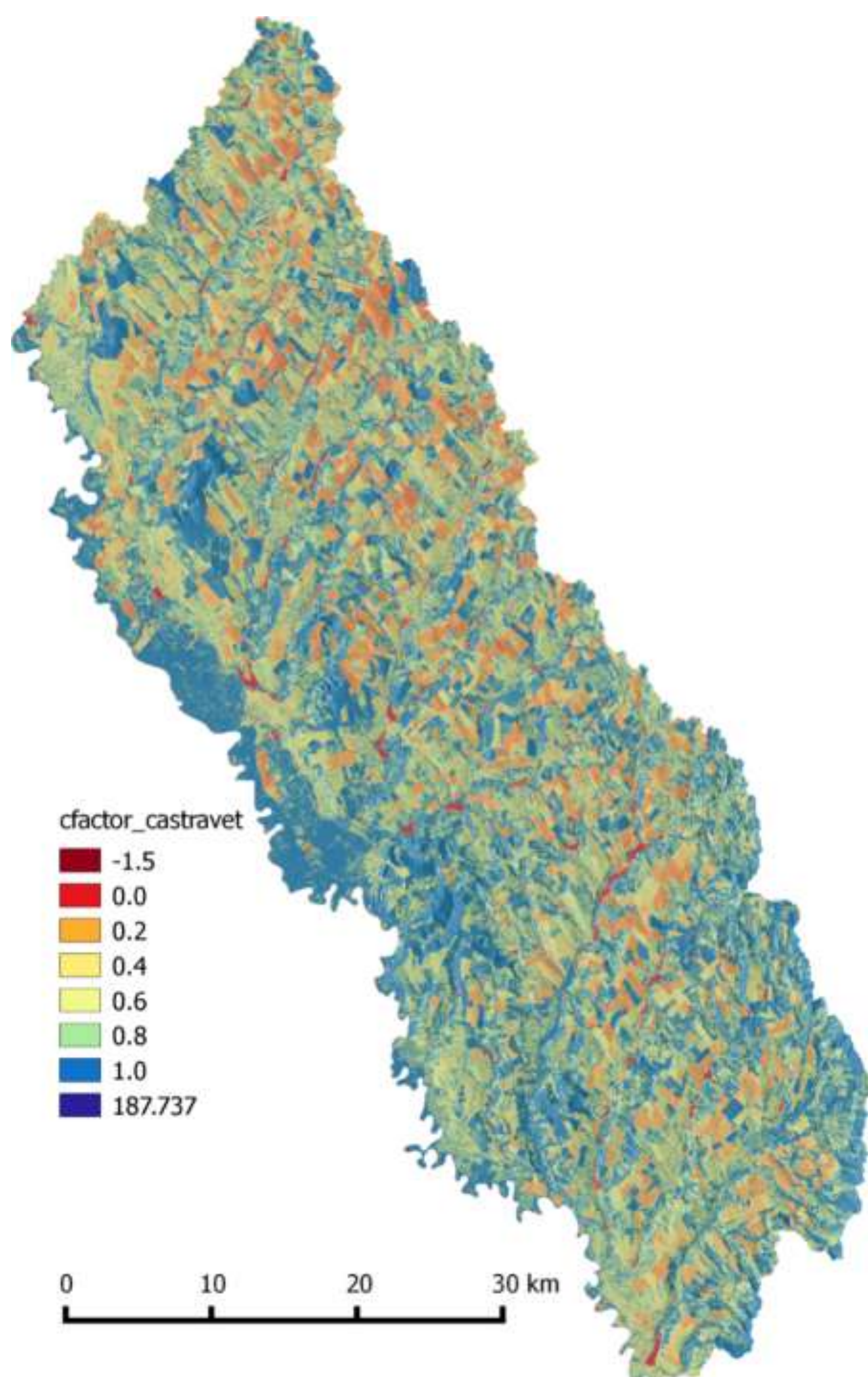
A 6.12

Factorul C, după ecuația Karaburun



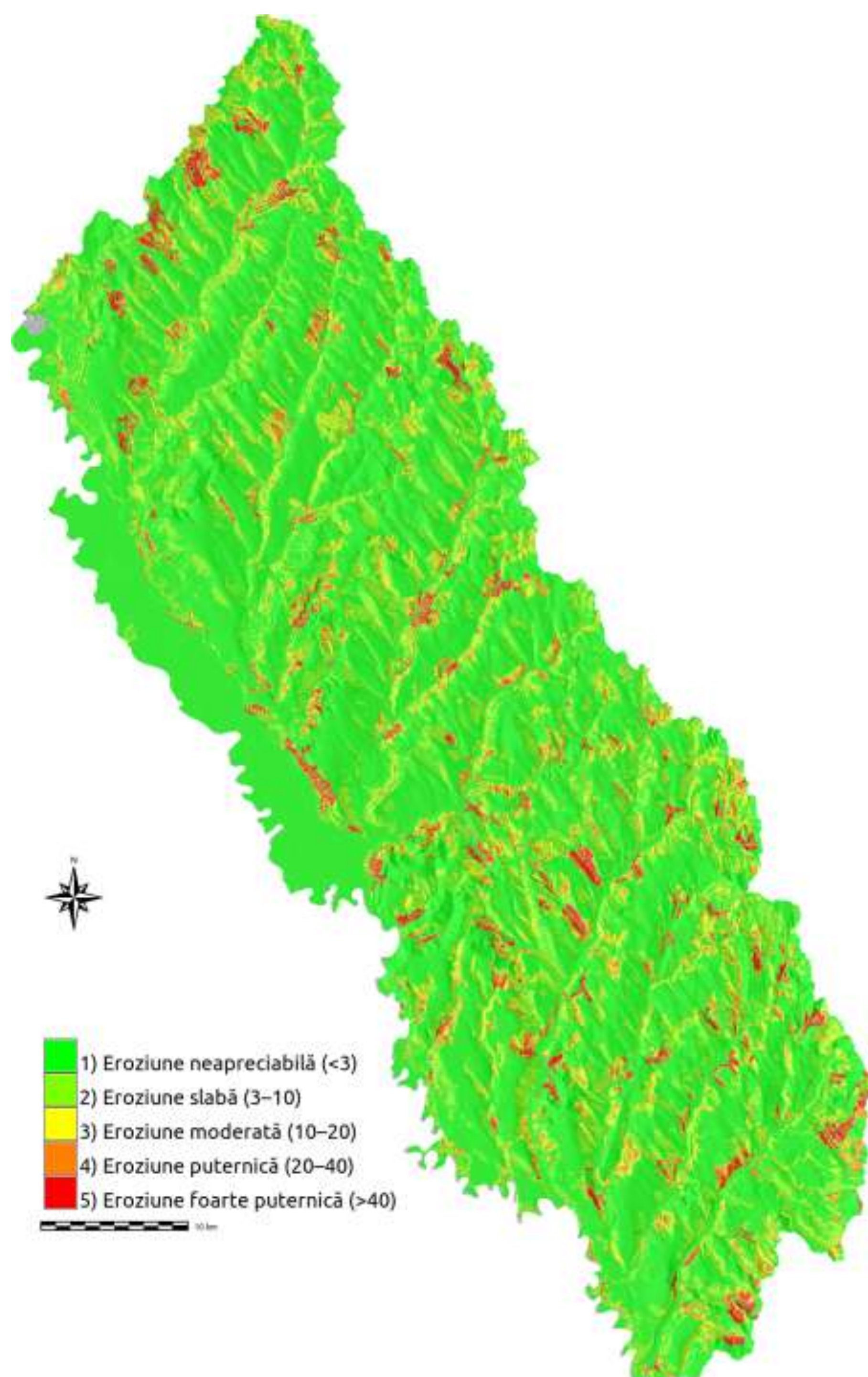
A 6.13

Factorul C, după ecuația Castraveț



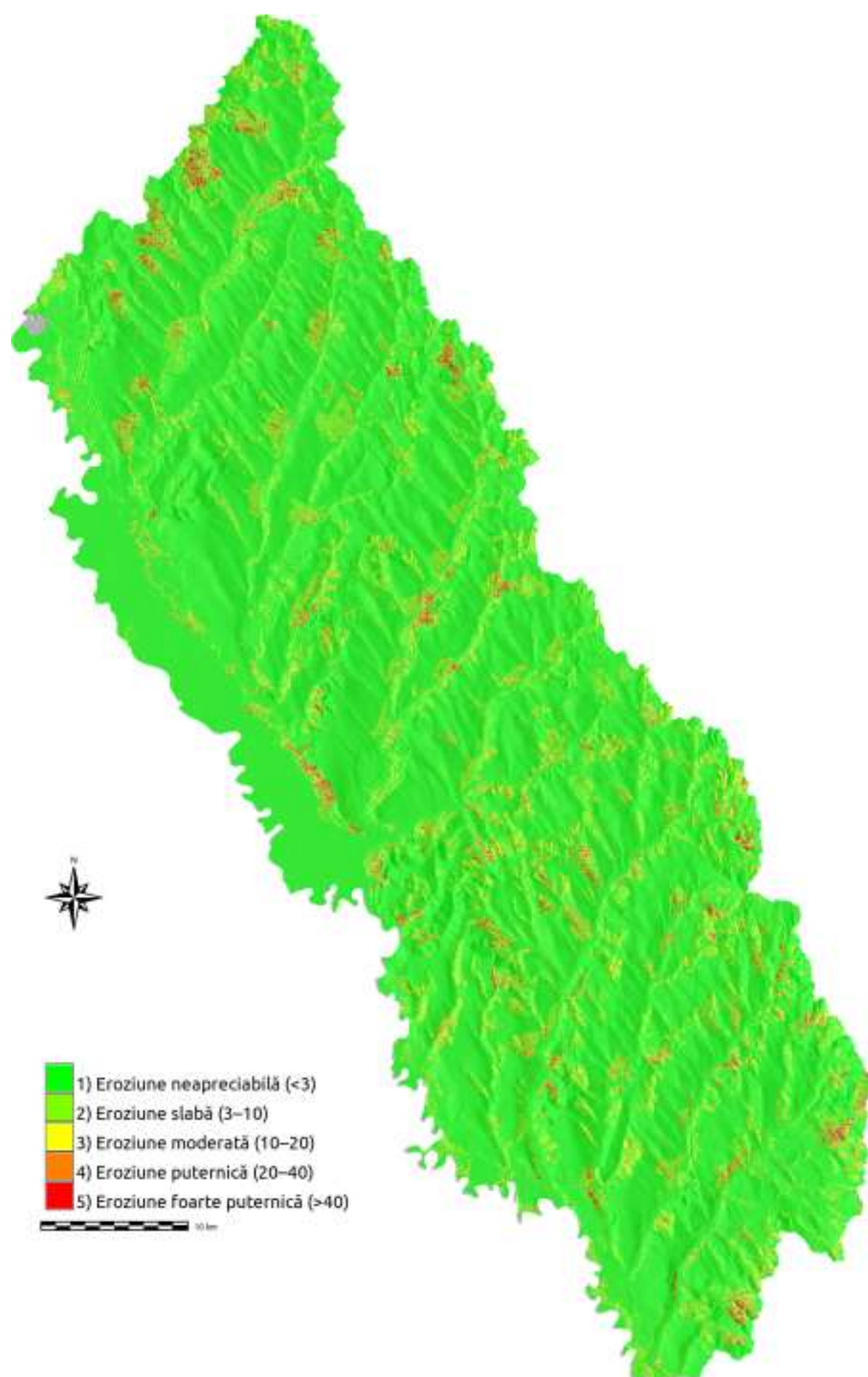
A 6.14

Producția anuală estimată de sedimente (A), SFD, cu bariere



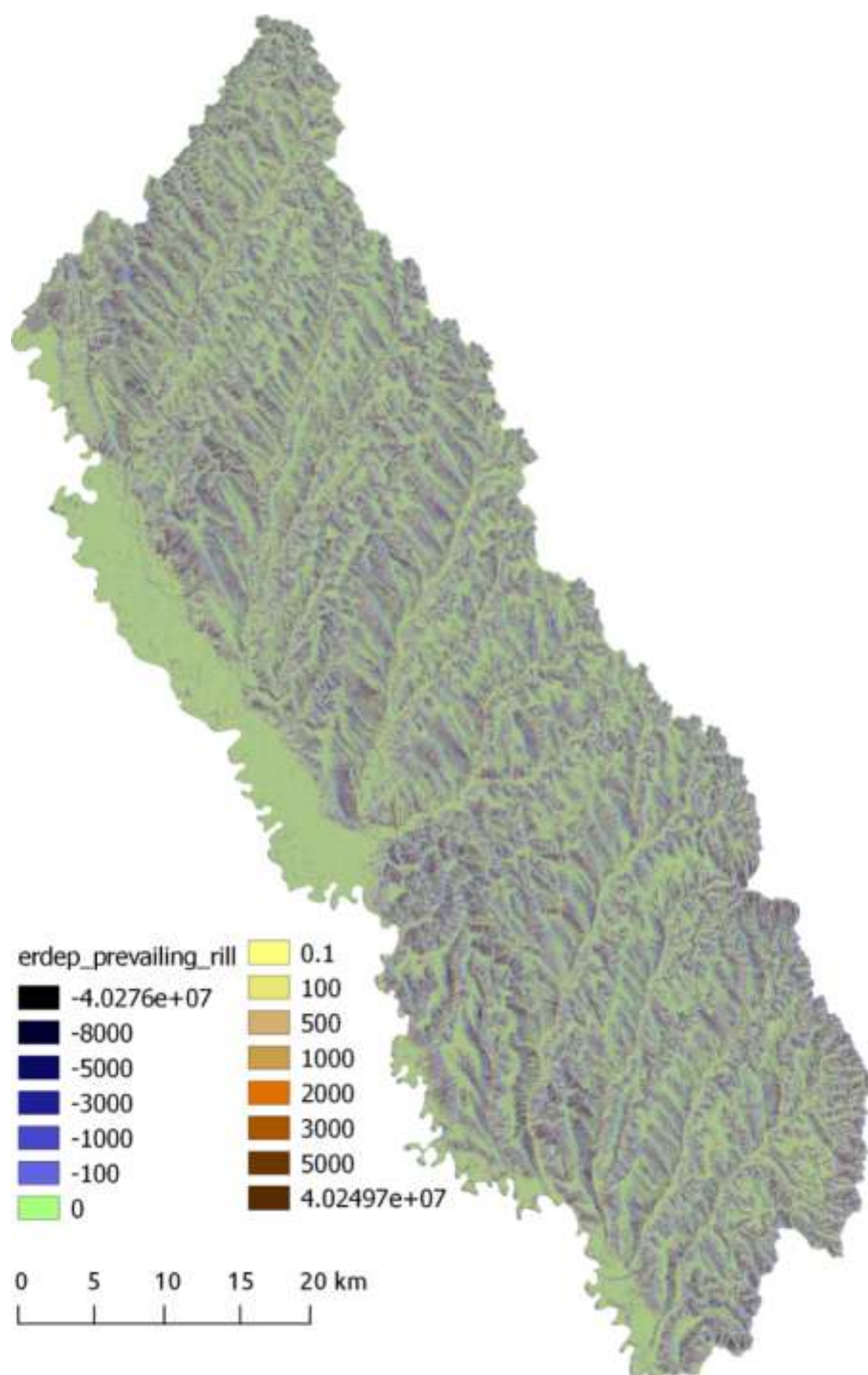
A 6.15

Producția anuală estimată de sedimente (A), MFD, cu bariere



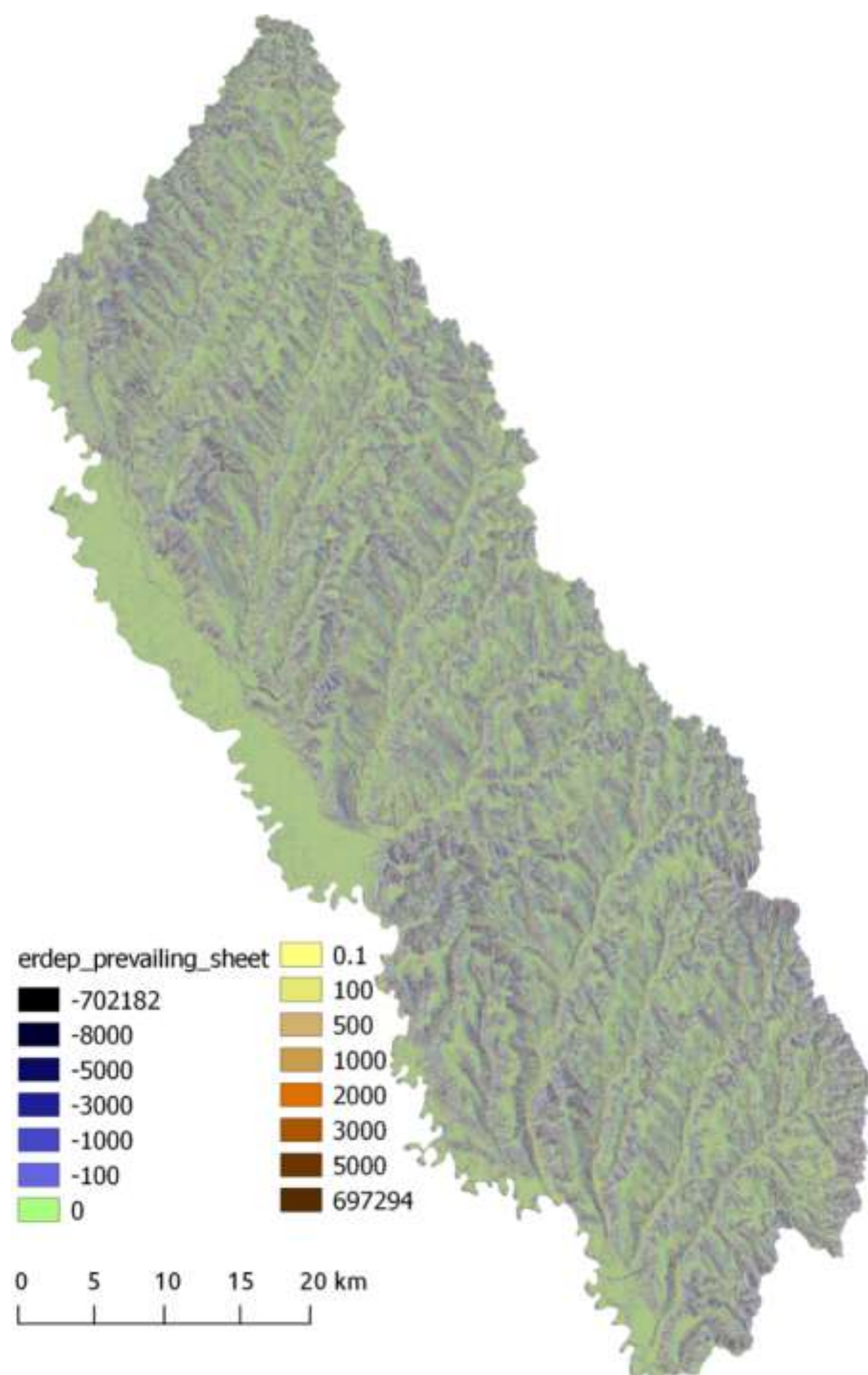
A 6.16

Harta eroziunii/depunerii în condițiile predominării eroziunii liniare (utilizând USPED)



A 6.17

Harta eroziunii/depunerii în condițiile predominării eroziunii plane (utilizând USPED)



Strategii de management pentru reducerea pierderilor de sol, modificat după [167]

Factorul	Strategiile de management	Exemple
Erozivitatea precipitațiilor	Factorul R nu poate fi modificat eficient în condiții de teren deschis.	Stabilirea unei rețele de canale pentru evacuarea dirijată a surplusului de apă de pe versanți și prevenirea eroziunii în adâncime. Dispersarea spațială a căilor de transport.
Erodibilitatea solului	Factorul K nu poate fi modificat eficient în condiții de teren, totuși, creșterea conținutului de materie organică din sol și aplicarea unor substanțe în scopul creșterii stabilității agregatelor de sol duce la sporirea erodibitilății solului.	Aplicarea de îngrășăminte organice. Mulcirea. Suportul dezvoltării microorganismelor din sol.
Factorul relief	Terasarea este o metodă de reducere a lungimii versanților rezultând reducerea pieredilor de sol.	Terasarea necesită investiții suplimentare și va provoca unele inconveniențe fermierilor. Este bine de precăutat mai întâi alte practici de conservare a solului, cum ar fi utilizarea de benzi înierbate etc. Stabilirea unei rețele optime de drumuri tehnologice, amplasarea lor corectă pe pante
Acoperirea și utilizarea terenurilor	Alegerea culturilor și a metodelor de cultură rezultă în valori reduse ale factorului C și respectiv a pierderilor de sol.	Repartizarea folosințelor agricole pe versanți în conformitate cu condițiile de relief și pedoclimatice, orientarea solelor pe direcția generală a curbelor de nivel. De luat în considerare sistemele de cultivare, asolamente, care vor asigura o protecție maximă pentru sol. De utilizat sisteme de prelucrare minimă acolo unde este posibil.
Tehnicile antierozionale	Selecția unei practici de suport care are cel mai mic posibil factor asociat cu acesta va avea ca rezultat pierderi mai mici de sol.	Se vor aplica practici de suport/menținere, cum ar fi agricultura perpendicular pe pantă, care va determina depunerea sedimentelor să aibă loc aproape de sursă. Implementarea agrotehnicii antierozionale, efectuarea lucrărilor agrotehnice pe direcția generală a curbelor de nivel; cultivarea culturilor agricole în fâșii alternative cu benzi înierbate; asolamente antierozionale etc. Efectuarea amenajărilor fitoameliorative (înființarea perdelelor forestiere, înierbarea sau împădurirea versanților cu înclinare mai mare de 200, transformarea în fânețe a terenurilor puternic erodate)

Clase texturale ale solului (după Conea et al., 1977)

1	Argilă (clay, глина) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există peste 45% argilă (sistemul ICPA) sau peste 60% argilă fizică (sistemul Kacinski), sau peste 40% argilă alături de sub 40% praf și sub 45% nisip (sistemul american), sau fie peste 60% argilă, fie 56-60% argilă și sub 32% praf (sistemul Chiriță).
2	Argilă nisipoasă (sandy clay, песчанная/опесчаненная глина) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 32-45% argilă și sub 14% praf (sistemul ICPA) sau peste 35% argilă și peste 45% nisip (sistemul american), sau 38-56% argilă, sub 15% praf și peste 42% nisip (sistemul Chiriță).
3	Argilă prăfoasă (silty clay, пылеватая глина) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 45-60% argilă și peste 32% praf (sistemul ICPA), sau peste 40% argilă și peste 40% praf (sistemul american), sau 42-60% argilă și 32-50% praf (sistemul Chiriță).
4	Lut (loam, суглинок тонкий/ил) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 20-32% argilă și 14-32% praf (sistemul ICPA), sau 25-37% argilă, 15-40% praf și 30-55% nisip (sistemul Chiriță-Burt), sau 7-27% argilă, 28-50% praf și sub 52% nisip (sistemul american), sau 10-30% argilă, 15-32% praf și sub 65% nisip (sistemul Chiriță).
5	Praf (silt, пыль) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există sub 12% argilă și peste 70% praf (sistemul american), sau peste 65% praf (sistemul Chiriță).
6	Lut argilo-nisipos (sandy clay loam, песчанный суглинок/опесчаненный глинистый суглинок) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 20-32% argilă și sub 14% praf (sistemul ICPA), sau 20-35% argilă, sub 28% praf și peste 45% nisip (sistemul american), sau 20-38% argilă și sub 15% praf (sistemul Chiriță).
7	Lut argilo-prăfos (silty clay loam, тяжело-пылеватый суглинок/пылевато-глинистый суглинок) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 32-45% argilă și peste 32% praf (sistemul ICPA), sau 27-40% argilă și sub 20% nisip (sistemul american), sau 30-42% argilă și 32-50% praf (sistemul Chiriță).
8	Lut greu (heavy loam/clay loam, тяжелый/глинистый/жирный суглинок) – clasă texturală cuprinzând soluri în a căror alcătuire există 45-60% argilă fizică (sistemul Kacinski).
9	Lut nisipos (sandy loam, песчанный/опесчаненный/легкий суглинок) – clasă texturală cuprinzând soluri în a căror alcătuire există 12-20% argilă și sub 32% praf (sistemul ICPA), sau 13-30% argilă, 10-35% praf și 40-70% nisip (sistemul Chiriță-Burt), sau fie sub 20% argilă, peste 53% nisip, conținutul de praf plus dublul celui de argilă depășind 30%, fie sub 7% argilă, sub 50% praf și 43-52% nisip (sistemul american), sau fie sub 20% argilă și peste 65% nisip, conținutul de praf plus dublul celui de argilă depășind 25%, fie sub 10% argilă, sub 32% praf și 58-68% nisip (sistemul Chiriță).
10	Lut prăfos (silt loam, пылеватый суглинок + глинисто-пылеватый суглинок) - clasă texturală cuprinzând soluri în a căror alcătuire există 20-32% argilă și peste 32% praf (sistemul ICPA), sau fie 50% praf și 12-27% argilă, fie 50-80% praf și sub 12% argilă (sistemul american), sau sub 30% argilă și 32-50% praf (sistemul Chiriță).
11	Nisip (sand, песок) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există sub 5% nisip și sub 32% praf (sistemul ICPA), sau 5% argilă, sub 10% praf și peste 80% nisip (sistemul Chiriță-Burt) sau peste 85% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate cel de argilă nedepășind 15% (sistemul am4erican), sau peste 80% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate cel de argilă nedepășind 15% (sistemul Chiriță).
12	Nisip lutos (loamy sand, суглинистый песок/супесь) – clasă texturală cuprinzând soluri în alcătuirea cărora există 5-12% nisip și sub 32% praf (sistemul ICPA), sau 10-20% argilă, 10-20% praf și 60-80% nisip (sistemul Chiriță-Burt), sau 10-20% argilă fizică (sistemul Kacinski), sau la limita superioară 85-90% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate din cel de argilă nedepășind 15%, iar la limita inferioară 70-85% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate din cel de argilă nedepășind 30% (sistemul american), sau la limita superioară 88-90% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate cel de argilă nedepășind 15%, iar la limita inferioară 75-85% nisip, conținutul de praf plus o dată și jumătate cel de argilă nedepășind 25% (sistemul Chiriță).

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, Tudor Castraveț, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Castraveț Tudor

Semnătura ________________________________

Data ____________________________________

CV-UL AUTORULUI

Numele de familie și prenumele	CASTRAVEȚ TUDOR
Data și locul nașterii	27 septembrie 1974, or. Ialoveni, Republica Moldova
Cetățenia	Republica Moldova, România
Studii – superioare, doctorat, postdoctorat (instituție, perioada, specialitatea, calificarea)	2006, Masterat în Geografie, Universitatea de Stat Tiraspol, Facultatea de Geografie, Chișinău, Tema tezei: Lacurile dintre Prut și Nistru – studiu ecohidrologic 1991-1996, Studii de Licență, Profesor de geografie și biologie, Universitatea de Stat Tiraspol, Facultatea de Geografie, Chișinău
Stagii (instituție, perioada, calificarea)	20-21 mai 2014 - Atelierul de lucru „Elaborarea Planului de gestionare a districtului bazinului hidrografic Nistru: Programul de măsuri și planificarea gestionării bazinului hidrografic”, Proiectul Tranziția la Agricultura Performantă, Programul Compact al Corporației Provocările Mileniului; 12-16 mai 2014 - Atelierul de lucru privind „soft-ul WEAP”, Proiectul Tranziția la Agricultura Performantă, Programul Compact al Corporației Provocările Mileniului; 14-18 aprilie 2014 - Atelierul de lucru privind „Utilizarea Programului Hidraulic HEC-RAS”, Proiectul Tranziția la Agricultura Performantă, Programul Compact al Corporației Provocările Mileniului; 2006 – „Remote Sensing and GIS in mineral mapping” Courses, MTA–JICA Third country training program, Ankara, Turcia.
Domeniile de interes științific	Geografie fizică, Geomorfologie, Hidrologie, Sisteme Informaționale Geografice
Activitatea profesională (instituție/organie, funcție, perioada de activitate)	2008 – prezent, Lector superior universitar/Lector universitar, Universitatea Academiei de Științe a Moldovei, Catedra Ecologie și Științe ale Mediului; 2006 – prezent, Cercetător științific, Institutul de Ecologie și Geografie, Academia de Științe a Moldovei; 2006 – 2012, Lector superior universitar, Universitatea de Stat din Moldova, Catedra Științe ale Solului, Geografie și Geologie; 2001 – 2006, Lector universitar/Lector superior universitar, Universitatea de Stat Tiraspol, Facultatea de Geografie; 1999 – 2002, Profesor de geografie, Liceul Teoretic „Gheorghe Asachi”,

	Chișinău.
Participări în proiecte științifice naționale și internaționale	2013-2014 – „Management and Technical Assistance Support to Moldova Flood Protection” Project. Service contract No TA2011038 MD EST; GIS expert 2013 – „Republic of Moldova National Water Supply and Sanitation Project”, Developing the Concept and Structure of Water Geographic Information System (WGIS) in Moldova Subproject (CQS/CS-0004-IDA WB1189-03/13); GIS Expert. 2011-2014 – „Crearea bazelor științifico-informaționale pentru optimizarea organizării teritoriale în condițiile actuale de modificare a mediului”, Institute of Ecology and Geography, Academy of Sciences of Moldova, Researcher. 2011-2012 – „Elaborarea suportului geoinformațional pentru gestionarea situațiilor de risc hidrologic în bazinul r. Prut”, Institute of Ecology and Geography, Academy of Sciences of Moldova, Researcher. 2011-2012 – „Moldova Disaster and Climate Risk Reduction” Project, United Nations Development Programme; GIS expert. 2009-2012 - „Landslide susceptibility assessment in central part of Republic of Moldova„ Project 983287, NATO Science for Peace and Security Program, Environmental Security Panel; Geography and GIS expert. 2009-2010 – „Elaborarea modelului undei cinematice a viiturilor și evaluarea zonelor de risc în caz de inundații pe râurile din Republica Moldova”, Institute of Ecology and Geography, Academy of Sciences of Moldova, Researcher. 2006-2010 – „Evidențierea particularităților regionale ale formării potențialului geoecologic al Landșafturilor”, Institute of Ecology and Geography, Academy of Sciences of Moldova, Researcher.
Participări la foruri științifice (naționale și internaționale)	- Simpozionul internațional „Sisteme Informaționale Geografice”, 16-17 octombrie 2009, Universitatea „Al. I. Cuza” Iași, România. - Simpozionul internațional „Sisteme Informaționale Geografice”, 9-10 noiembrie 2012, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România. - Conferința Științifică Națională cu participare Internațională „Mediul și dezvoltarea durabilă”, 22-24 Mai 2014, Universitatea de Stat Tiraspol, Chișinău. - Conferința Științifică cu participare Internațională „Probleme ecologice și geografice în contextul dezvoltării durabile a Republicii Moldova. Realizări și perspective”, 14-15 septembrie, Chișinău, 2016. - Conferința Științifică Națională cu participare Internațională „Mediul și dezvoltarea durabilă”, 06-08 octombrie 2016, Universitatea de Stat Tiraspol, Chișinău; Conferința științifică „Atmosfera și Hidrosfera”, 24 septembrie 2016, Universitatea „Ștefan cel Mare”, Suceava, România. - European Geosciences Union General Assembly 2017, SSS2.1 - Land Degradation and Development. A State-of-the-Art, Vienna, Austria, 23-28 April 2017.
Lucrări științifice și științifico-metodice publicate - numărul	Autor și/sau coautor a 50 publicații din care: - monografii/capitole - 8 - articole - 32

de monografii, articole, materiale ale comunicărilor științifice, brevete de invenții, manuale, ghiduri etc.	- comunicări științifice - 4 - manuale - 5 - ghiduri - 1 Inclusiv 9 la tema studiului.
Premii, mențiuni, distincții, titluri onorifice etc	-
Apartenența la societăți/asociații științifice naționale, internaționale	2004 - Membru al ONG „Oikumena”. 2017 - Membru al Uniuni Europene de Științe despre Pământ (European Geosciences Union)
Activități în cadrul colegiilor de redacție ale revistelor științifice etc.	-
Cunoașterea limbilor (limba de stat și limbile străine – cu indicarea gradului de cunoaștere)	Română - maternă, Rusă - excelent, Engleză – bine
Date de contact (adresa, telefon, email)	com. Mileștii Mici, raion Ialoveni, str. Tinereții 11 Mob: 0.671.48788, Email: tcastravet@gmail.com